الكيمياء النووية

لطلاب قسم الكيمياء بكليات التربية والعلوم

إعداد

د. حسن مريدي
أستاذ مساعد فيزياء نووية نظرية
كلية العلوم التطبيقية – جامعة تعز

الطبعة الأولى – 2017

مفردات مقرر كيمياء نووية

الفصل الأول: نبذة عن الذرة والنواة:

تعريفات الذرة، النواة، البروتون، النيوترون، الإلكترون، العدد الكتلي والعدد الذري، وحدة الكتل الذرية، وحدة الطاقة الذرية، النظائر، طاقة الربط للنواة، تحويل الكتلة إلى طاقة، استقرار النواة.

الفصل الثاني: النشاط الإشعاعي :

اكتشافه، انحلال النشاط الإشعاعي، التعريف بالإشعاع، التحلل الإشعاعي، درجة ثبات النواة، التحلل الإشعاعي(بجسيمات ألفا - بيتا- والبوزوترونات - و الأسر الإلكتروني - و أشعة جاما – التحلل بالتنشيط)، قانون التفكك الإشعاعي، وحدة النشاط الإشعاعي، العلاقة بين النشاط الإشعاعي والكتلة، انحلال النشاط الإشعاعي المركب. العناصر المشعة الطبيعية، العناصر المشعة الصناعية،

الفصل الثالث: التفاعلات النووية:

تفاعل الإشعاع مع المادة : تفاعل الجسيمات غير المشحونة، تفاعل الأشعة الكهرومغناطيسية، التفاعلات النووية، الانشطار النووي، نواتج الانشطارر، الاندماج النووي :دورة(بروتون-بروتون)، دورة الكربون.

الفصل الرابع: المفاعلات والمعجلات النووية

المفاعلات النووية وتركيبها، المعجلات النووية ، أنواعها، استخدام المعجلات في إنتاج النظائر. مصادر النيترونات من التفاعلات النووية و من الانشطار التلقائي.

الفصل الخامس النظائر المشعة وتطبيقاتها:

النظائر المشعة، تعريفها، أنواعها، إنتاج النظائر، تطبيقات واستخدامات النظائر المشعة.

الفصل السادس: تأثيرات الإشعاع المختلفة وأجهزة قياس الإشعاع

التأثيرات العشوائية للإشعاع، التأثيرات الغير عشوائية للإشعاع.
الكواشف الإشعاعية : الفيلم الفوتوجرافي الحساس، غرفة التأيين، عداد جيجر، الكواشف الصلبة، (كواشف صلبة مفلورة – كواشف أسباه الموصلات.)
أجهزة قياس الإشعاع :شارة الفيلم Badge film ، جهاز المسح الإشعاعي، مقياس الجرعة الجيبي، محلل وحيد القناة، محلل عديد القنوات.

المقدمة

الكيمياء النووية Nuclear Chemistry هو أحد فروع الكيمياء الذي يهتم بدراسة الفعالية الإشعاعية radioactivity، والتفاعلات والعمليات النووية والخواص النووية.

وتعني الكيمياء النووية بدراسة التفاعلات التي تحدث نتيجة تغير في أنوية الذرات. ويهتم علم الكيمياء النووية كذلك بدراسة تركيب النواة وطبيعة الجسيمات الأساسية المكونة لها، وكيف يؤثر هذا التركيب على ثباتها، و يهتم أيضا 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.

أما علم الكيمياء الإشعاعية فهو يعتبر أحد أهم التطبيقات التقنية لدراسة المواد المشعة، وما يمكن أن تحدثه من تغيرات كيمائية

وقد جمعت هذه المادة العلمية من عدة مراجع موجودة في الصفحة التالية وما عملته كان تهذيبا وترتيبا للمادة العلمية بهذه المراجع وقد قمت بهذا العمل سريعا لأن هذا المقرر عرض علي لتدريسه في وقت متأخر كان قد بدأ فيه الترم الدراسي وأخشى وجود أخطاء في هذه الطبعة نتيجة لسرعة الاعداد ولكن ستكون الطبعات القادمة أحسن وأفضل ان شاء الله.

د. حسن مريدي

باجل، اليمن، مارس 2017

الفصل الأول: الذرة والنواة

1.1. الإطار التاريخي لنشأة النظرية الذرية :

حاول العلماء والفلاسفة منذ القدم الإجابة على التساؤلات المتعلقة بالمادة وتركيبها وما إذا كان ممكناً قسمة المادة إلى أجزاء صغيرة في عملية قسمة لا نهائية أم إذا كنا سنصل في عملية القسمة هذه إلى أجزاء صغيرة يستحيل قسمته إلى أجزاء أصغر .

وقد شغل الإغريق أكثر من غيرهم في دراسة هذا الموضوع ، وانقسموا إلى فريقين : الفريق الأول أيد نظرية أرسطو التي تقول بقسمة المادة إلى ما نهاية ، وأما الفريق الثاني أنصار الرأي القائل بأن المادة لا يمكن قسمتها إلى ما لا نهاية، وأن حجر الزاوية في تركيب المادة هو الذرة Atom (وهي كلمة إغريقية تعني غير قابل للانقسام) .

وهكذا نجد أن فكرة النظرية الذرية قد ظهرت في المجتمع الإغريقي ، ويجمع العلماء على أن مؤسسها المفكر الإغريقي " ديمقريط " (357 - 470 ق . م) وذلك على الرغم من أن جميع أعماله قد اندثرت ثم جاء تلميذه " ليكيب " ووضع الإطار النظري لأفكار أستاذه وقال بأن المادة تتكون من أجزاء صغيرة غير قابلة للانقسام تسمى ذرات ، وهي في حالة حركة مستمرة في الفراغ . وقد ساند هذه النظرية علماء إغريق أمثال " ابيقور " وعلماء رومانيون أمثال " لوكريتس " .ولقد استندت النظرية الذرية الإغريقية على الفرضيات التالية :

أولاً – تتحرك الذرات باستمرار في الفراغ وتؤثر على بعضها بالدفع والضغط .

ثانياً – تتغير المادة نتيجة انفصال الذرات أو اتصالها .

ثالثاً – يمكن تفسير اختلاف المواد باختلاف شكل الذرات المكونة لها وحجمها .

ورغم الدور الكبير الذي أداه " نيوتن " في إحياء النظرية الذرية الإغريقية وتطويرها إلا أنه يمكن اعتبار العالم الإنجليزي " جون دالتون " (1766 – 1844) أول من وضع النظرية الذرية على أسس علمية حديثة . وكان ذلك في بداية القرن التاسع عشر ؛ ففي 20 أكتوبر قدم دالتون تقريراً شفهياً إلى تسعة أعضاء من الجمعية الأدبية والفلسفية في مانشستر وكان عنوان تقريره (حول امتصاص الغاز للماء والسوائل الأخرى) .

وفي نهاية تقريره طرح سؤالاً حول اختلاف مقدرة الغازات المختلفة على إذابة الماء والسوائل وقدم الإجابة على التساؤل في الاجتماع ذاته . وكانت إجابة " دالتون " بمثابة تلخيص لما عرف لاحقاً بنظرية " دالتون الذرية " وحسب دالتون فإن كل عنصر من عناصر المادة يتكون من نوع واحد من الذرات وهي جسيمات صلبة غاية في الصغر ولا تقبل الانقسام ، وتختلف ذرات العناصر عن

بعضها من حيث الوزن والحجم ، واستطاع " دالتون " تفسير العديد من القوانين والظاهرات الكيميائية بدلالة هذا التصور الذري .

وفي بداية القرن التاسع عشر امتدح الطبيب الإنجليزي " وليم براون " فرضية استنبطها من نتائج مشاهداته وتجاربه ، وتقول : إن ذرات جميع العناصر تتركب من ذرات الهيدروجين فذرة النيتروجين ما هي إلا 14 ذرة هيدروجين مرتبطة معاً . أما ذرة الاكسجين فهي 16 ذرة هيدروجين ..وهكذا ..

وقد أعطى اكتشاف الجدول الدوري للعناصر من قِبل العالم الروسي " مندليف " (1834 – 1907) دفعة قوية إلى الجهود المركزة حول الأبحاث المتعلقة بالذرة .

وبدأت تتطور الأبحاث المادة المتعلقة بالذرة بعد اكتشاف النشاط الإشعاعي من قِبل العالم الفرنسي " هنري بكريل " في عام (1896) واكتشاف الإلكترون من قِبل العالم " طومسون " عام (1897) . إذ تغيرت نظرة العلماء إلى الذرة بعد هذين الاكتشافين ، واتجهت الأبحاث إلى محاولة معرفة تركيب الذرة الداخلي وإمكانية انشطارها .

نموذج طومسون الذري :

كانت أولى الفرضيات المتعلقة بتركيب الذرة النموذج الذي اقترحه العالم الإنجليزي " طومسون " في عام (1898) وظهرت هذه الفرضية بشكل مطبوع في كتابه (الكهرباء من المادة) الذي نشر في عام 1903 م .

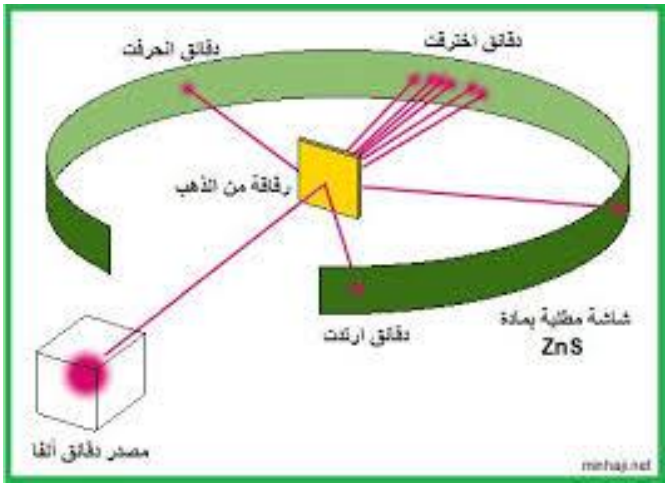
واقترح طومسون نموذجا للذرة (سمى نموذج الحلوى بالزبيب) مفاده إن الذرة عبارة عن كرة مشحونة بكهرباء موجبة موزعة بانتظام ومحشوة بالإلكترونات بحيث يساوي مجموع الشحنات السالبة لجميع الكترونات الذرة مقدار الشحنات الموجبة للكرة كلها، أي ان الذرة متعادلة كهربيا . واستخدم هذا النموذج لتفسير العديد من الظواهر الفيزيائية والكيمائية مثل ترتيب العناصر في الجدول الدوري وموصلية المعادن. وبالرغم من محدودية هذا النموذج فقد أدى دورا كبيرا في تطور النظرية الذرية الحديثة.

نموذج راذرفورد

قام ردرفورد بتوجيه شعاع من جسيمات ألفا الناتجة عن مصدر مشع (الراديوم) إلى صفيحة رقيقة من الذهب سمكها 0,0004 سم ، محاطة بغلاف مغطى بطبقة من كبرتيد الخارصين الذي يعطي وميضا عند مكان اصطدام جسيمات ألفا به. وخرج ردرفورد من مشاهداته بالاستنتاجات الآتية :-

1. نفاذ معظم جسيمات ألفا دون أن تعاني أي انحراف في مسارها .
2. انحراف عدد قليل من جسيمات ألفا عن مسارها أثناء نفاذها .

3. ارتداد عدد قليل من جسيمات ألفا.



شكل (1-1): تجربة رذرفورد.

وبناء على هذه التجربة أقترح نموذجا للذرة

1- الذرة تشبه المجموعة الشمسية (نواة مركزية يدور حولها على مسافات شاسعة الالكترونات سالبة الشحنة)
2- الذرة معظمها فراغ (لأن الذرة ليست مصمتة وحجم النواة صغير جدا بالنسبة لحجم الذرة)
3- تتركز كتلة الذرة في النواة (لأن كتلة الالكترونات صغيرة جدا مقارنة بكتلة مكونات النواة من البروتونات والنيوترونات)
4- يوجد بالذرة نوعان من الشحنة (شحنة موجبة بالنواة وشحنات سالبة على الالكترونات
5- الذرة متعادلة كهربيا لأن عدد الشحنات الموجبة (البروتونات) يساوي عدد الشحنات السالبة (الالكترونات)
6- تدور الالكترونات حول النواة في مدارات خاصة
7- يرجع ثبات الذرة إلى وقوع الالكترونات تحت تأثير قوتين متضادتين في الاتجاه متساويتين في المقدار هما قوة جذب النواة للإلكترونات وقوة الطرد المركزي الناشئة عن دوران الالكترونات حول النواة

عيوب نموذج راذرفورد

1-الذرة ليست متزنة ميكانيكيا (بما الالكترون يدور حول النواة في مسار دائري فانه حسب نظرية ماكسويل يشع أمواجا كهرومغناطيسية ويفقد جزءا من طاقته وبالتالي يدور في مسار حلزوني حتى يلتصق بالنواة وهذا لا يحدث

2- لم يستطع تفسير الطيف الخطي

نظرية بور و تفسير نموذج ذرة الهيدروجين

بناءً على هذه المشاهدات تمكن نيلز بور من تفسير طيف عنصر الهيدروجين وأعلن عن انطلاق علم جديد وهو علم ميكانيكا الكم الذي يقوم على افتراض أن الجسيمات الصغيرة في الكتلة مثل الالكترونات لا تتبع قوانين نيوتن عن الحركة ولا تتبع أيضاً بقية القوانين التقليدية للديناميكا الكهربية التي تصف التعاملات بين الشحنات المتحركة ولكنه علم له مبادئ وأسس وقواعد مختلفة من خلالها يمكن تفسير كيفية وجود الالكترونات في الذرة ومن ثم طرح بور نظريته الشهيرة والمكونة من عدة فروض والتي تتحدث عن كيفية وجود الالكترونات في الفراغ حول النواة وبالرغم من أن بور لم ينجح في تفسير أطياف بقية العناصر غير الهيدروجين نظراً لتعقد تركيبها ولكنه كان واثقاً كل الثقة من صحة تفسيره الذي افترضه وأبدى تأكيده بأنه سيأتي بالتأكيد مستقبلاً من يفسر أطياف بقية العناصر .

1- هناك مستويات طاقة معينة و محددة تشغلها الإلكترونات.

2- تحرك الإلكترونات في مستويات حول النواة طاقة مغلقة لا تفقد و لا تكتسب طاقة.

3- كل مستوى طاقة له رقم يميزه يسمى بعدد الكم الرئيسي (n) ولكل مدار مستوى طاقة ثابت.

4- تدور الإلكترونات في مستويات الطاقة .

5- تزداد طاقة المستوى بزيادة البعد عن النواة أي بزيادة قيمة n.

6- إذا اكتسب الإلكترون طاقة معينة ينتقل إلى مستوى طاقة أعلى.

والنظرية تفسر تركيب ذرة الهيدروجين و هي أبسط نظام إلكتروني . ولكنها فشلت بتفسير بعض الظواهر الطبيعية للعناصر و كذلك تفسير الذرات التي تحتوي على عدد أكبر من الإلكترونات وقام ليمان بإصلاح لنظرية بور ومن بعده سمفرفيلد.

3.1. 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 كما رأينا.

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^{-15} متر (فرمي)، في حين يصل نصف قطر الذرة حوالي 10^{-10} متر (انجستروم). والنواة بدورها تتركب من نوعين من الجسيمات المتناهية الصغر تعرف بالبروتونات والنيوترونات، ويعود تعادل الذرة إلى تساوي عدد البروتونات مع عدد الإلكترونات واختلافهما في الشحنة.

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

تستخدم لقياس كتل الأنوية وتساوي كتلة ذرة الهيدروجين، وهي تساوي 12/1 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 contains $6.203x10^{23}$ atom

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

$= 1.661x10^{-27}$ kg = a.m.u.

ومن المفيد تحديد المفاهيم الأولية الآتية في التركيب الذري والنووي:

البروتونات The Proton: البروتون عبارة عن جسيم صغير تبلغ كتلته $1.67x10^{-27}$ كجم (1.007277 amu) 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 (1.008665 amu) وغالبا يعتبر النيوترون عبارة عن اتحاد بروتون وإلكترون.

النيوكليونات The Nucleons: هو اسم يطلق على الجسيمات النووية، أي البروتونات والنيوترونات ومجموع عددها هو عدد الكتلة إذن فهو مسمى مشترك لكل من البروتون والنيوترون

العدد الذري (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:

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

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 $^{23}_{11}Na_{12}$, $^{23}_{12}Mg_{11}$

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

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

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

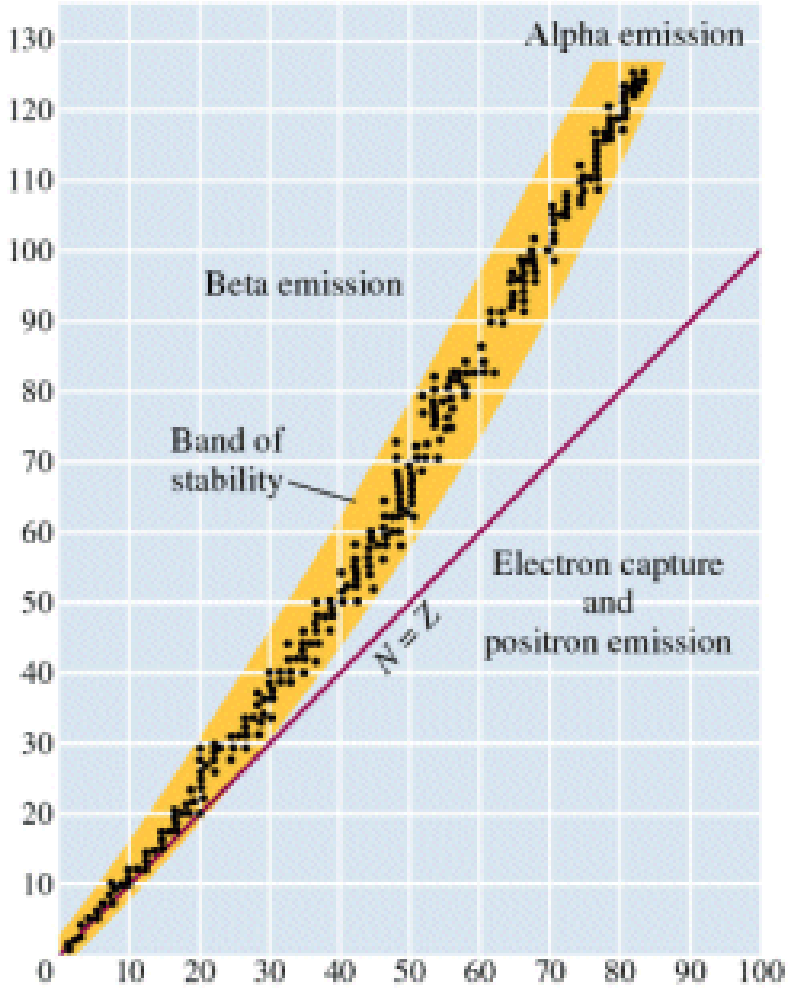
$^{60m}_{27}Co_{33}$, $^{60}_{27}Co$

تمرين : اكتب الترميز النووي المناسب لما يأتي:

1- نواة تحتوي على 12 بروتون و 13 نيوترون.
2- نواة تحتوي على 44 بروتون و 62 نيوترون.
3- ذرة ألومنيوم تحتوي على 27 نيوكليون.

4.1. استقرار النواة

يوجد في أنوية العناصر الخفيفة الثابتة عدد متساوي تقريبا من البروتونات والنيوترونات، إلا أنه بازدياد 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 (1-2): حزام الثبات الذي يوضح العلاقة بين عدد النيوترونات والبروتونات.

نلاحظ أن الانحراف 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 بانحلال النشاط الإشعاعي بالأسلوب الذي تقلل فيه نسبة النيوترونات إلى البروتونات لتصل إلى قيمة قريبة جدا من قيمة الاستقرار (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 بانبعاث جسيمات بيتا السالبة. أما إذا كانت N/Z قليلة جدا للاستقرار حدث انحلال للنشاط الإشعاعي الذي يقلل من قيمة Z ويزيد من قيمة N بتحويل البروتونات إلى نيوترونات وذلك بانبعاث بوزيترون B^+ أو امتصاص النواة للإلكترون المداري (E.C.) حجز الإلكترون. ونلاحظ أنه بعد البزموث تكون جميع الأنوية غير مستقرة تجاه انحلال النشاط الإشعاعي بانبعاث جسيمات ألفا في حين أن يكون بعضها غير مستقر أيضا تجاه انحلال 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 الازدواج لتكوين روابط مستقرة كذلك فإن النيوكليونات ذات نفس النوع (بروتون – بروتون أو نيوترون – نيوترون) تعمل على الازدواج 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، 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:

$^{16}_{8}O_{8}$, $^{28}_{14}Si_{14}$, $^{118}_{50}Sn_{68}$, $^{88}_{38}Sr_{50}$, $^{89}_{39}Y_{50}$, $^{90}_{40}Zr_{50}$, $^{138}_{56}Ba_{82}$, $^{139}_{57}La_{82}$, $^{140}_{57}Ce_{82}$, $^{208}_{82}Pb_{126}$

وهذه العناصر كما هو واضح تحتوي على أعداد سحرية.

5- انبعاث 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 الانشطار النووي أنه عندما تتكون أنوية مثل: $^{89}Sr_{51}$ أو $^{137}Xe_{83}$ في نواتج الانشطار 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)
$^{205}_{82}Pb$	123	6.64
$^{206}_{82}Pb$	124	8.16
$^{207}_{82}Pb$	125	6.73
$^{208}_{82}Pb$	126	7.38
$^{209}_{82}Pb$	127	3.87
$^{210}_{82}Pb$	128	5.23
$^{211}_{82}Pb$	129	3.77

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

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

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

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

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

1 a.m.u. = 931 Mev

5.2. 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 (النيوكليونات).

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

ΔM = Mass Deffect = النقص في الوزن

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

حيث أن MA هو الوزن الحقيقي للذرة.

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

وزن البروتون + وزن الإلكترون = وزن ذرة الهيدروجين

إذا:

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

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.

6.2. 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) = 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 واستنتج فيها أن كتلة الجسيم في الواقع هي مقياس لما يحتويه من طاقة. فإذا فقد الجسم بعضا من طاقته نقصت كتلته تبعا للمعادلة:

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

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 المنطلقة 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 $1.66x10^{-27}$ كجم بأنها تساوي =

$((1.6x10^{-12}) / ((3x10^{10}) \times (1.66x10^{-24}))$ = 931 مليون إلكترون فولت (Mev) .

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

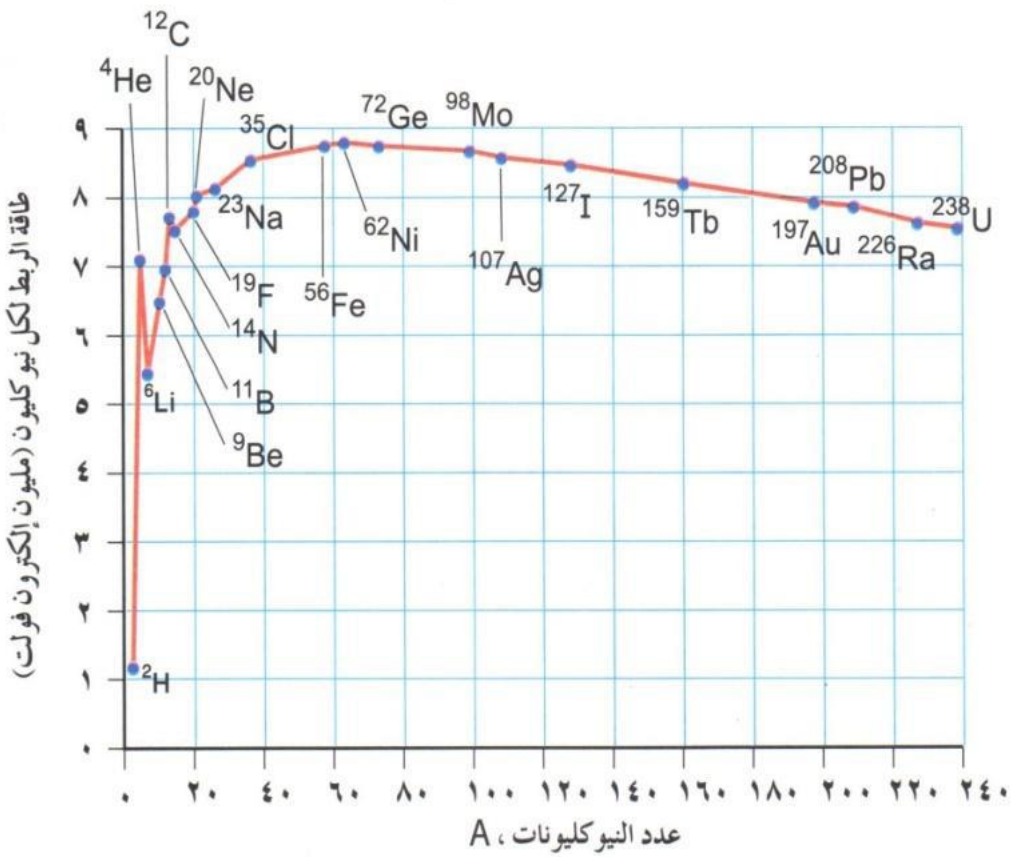
وتقاس أوزان الذرات أو النوى منسوبة إلى وزن نظير الكربون 12 ، حيث تعتبر كتلة هذا النظير مساوية 12.000 وحدة كتلة ذرية، وهي تكافئ $1.66x10^{-24}$ جم. ومن المتبع في التفاعلات النووية استخدام وحدات الإلكترون فولت (ev) أو المليون إلكترون فولت (Mev) كوحدات لقياس الطاقة وتحسب الطاقة لكل ذرة بدلا من المول في التفاعلات الكيميائية.

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

إذا الإلكترون فولت = 10^6 مليون إلكترون فولت.

ولقد تم حساب متوسط طاقة الربط لكل نيوكلون للعناصر المختلفة واستخدامها كمقياس لمدى الاستقرار النووي.

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



شكل (1-3): منحنى طاقة الربط لكل نيوكليون للأنوية المستقرة كدالة لعدد الكتلة A.

ويوضح الشكل (3) 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 استقرار هذه الأنوية. وتزداد قيمة $\Delta E/A$ إلى أن تصل قيمة عالية حوالي 8.8 مليون إلكترون فولت عند النويدات ذات وزن ذري 50 وبعدها تقل قيمة طاقة الربط كلما زاد الوزن الذري لتصل إلى 7.6 لليورانيوم (نواة غير مستقرة).

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 استقرارا 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 الاندماج النووي Nuclear Fusion مثل:

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

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

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

مسائل:

1- احسب طاقة الربط للهيليوم $^{4}_{2}He$ علما بأن:

وزن ذرة الهيليوم = 4.002604 mu

وزن البروتون = 1.007276 mu

وزن النيوترون= 1.008665 mu

وزن الإلكترون=0.00054858 mu

2- احسب طاقة الربط للألومنيوم $^{27}_{13}Al$ علما بأن وزن نظير الألومنيوم = 26.981539 mu

3-إحسب طاقة الربط لكل نيوكلون لكل من $^{82}_{36}K$ و $^{64}_{30}Zn$ علما بأن وزن كل منهما يساوي 81.9384 mu و 63.9488 mu

الفصل الثاني: النشاط الاشعاعي

1.2. 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 (1): 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 TNT[1] مادة	$C_7H_5(NO_2)_3 \rightarrow$ explosion products	كيميائي	9.2
انحلال بيتا لـ Co	$^{60}Co \rightarrow Ni + \beta + energy$	نووي	$2.5x10^6$
الانشطار النووي	$^{235}U + {}^1n \rightarrow$ fission products+ energy	نووي	$200x10^6$

[1] ثلاثي نيترو طولوين Trinitro toulwene

اكتشف العالم الفرنسي هنري بيكريل H. Becquerel عام 1895م أن أملاح اليورانيوم تبعث إشعاعات تؤثر على الألواح الفوتوغرافية المغلفة، وقد ظن في البداية أنها هي نفسها الإشعاعات التي اكتشفها العالم الألماني روتنجن Rotingen والتي سميت الاشعة 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 1889م 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 بأكثر من عشرة مليون مرة، ومن هنا كانت الخاصية الإشعاعية القوية للبتشبلند وهي خامة سوداء اللون تحتوي على أكسيد اليورانيوم U_3O_8 بنسبة 75%.

وكان من أهم أعمال ماري كوري فصلها لمقدار 100 مليجرام من كلوريد الراديوم بصورة نقية (حسب أحدث ما توصلت إليه القياسات الطيفية في ذلك الوقت)، وعينت الوزن الذري له بقيمة 226.5 (بفارق 0.2 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 1909م، 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 Thomson بأنها عبارة عن إلكترونات أو جسيمات تحمل شحنة سالبة في الذرات، والتي تتشابه في طبيعتها في جميع الذ رات.

وبين العامين 1911م و 1913م قدم العلمان فاجان وسودي K.Fajan and F. Soody أوراقهما البحثية الخاصة بدراسة عمليات الانحلال 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 1932م حدثا مهما تمثل في اكتشاف شادويك J. Chadwick لوجود النيوترون الذي انطلق من نواة البريليوم بعد قذفها بجسيمات ألفا ذات الطاقة العالية جدا، في تفاعل من النوع:

$$^{9}_{4}Be(\alpha,n)^{12}C$$

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

وفي العام 1934م 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.

ساعد على تفسير ظاهرة النشاط الاشعاعي اكتشاف الالكترون قبل ذلك بسنين حتى جاء عصرنا الحديث حيث تمكن العلماء قبل سنوات معدودة من تصوير الالكترون بكاميرا خاصة (كلفت اكثر من مليار دولار) حيث ظهر الالكترون كنقطة سوداء تدور في غلافه الخارجي، من جهة اخرى عام 1867م في كشفه الخصائص الدورية Mendeleevجاء الانجاز الذي قدمه العالم ماندليف لعناصر الجدول الدوري والتي مكنت العلماء من التنبؤ بالعناصر غير المكتشفة يومئذ ومعرفة خواصها الفيزيائية والكيميائية الى ان اكتمل الجدول الدوري في وقتنا الحالي عام 2012م الذي تضمن 118 عنصرا موزعة ومرتبة بمجاميع او زمر بلغ عددها 18 ودورات بلغ عددها 7 مضافا اليها عناصر الاكتينات وعناصر اللانثانات، حيث كانت العناصر الاخيرة المكتشفة اغلبها نظائر مشعة محضرة بتفاعلات نووية.

2.2. الإشعاع

الإشعاع عبارة عن انبعاث وانتشار للطاقة خلال الفضاء أو الوسط المحيط. وينقسم الإشعاع إلى نوعين اثنين:

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.

3.2. الإشعاع النووي

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

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

أ. **أشعة ألفا α Alpha ray**

من خصائص أشعة ألفا ما يلي:

* **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.

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) اختراق 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 امتصاص 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 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 ^{60}Co

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 امتصاصا 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 الامتصاص الكلي فإن المعادلة التي يمكن من خلالها معرفة عدد الفوتونات غير الممتصة من قبل المادة والتي تساوي (قانون بيير للامتصاص):

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

وبما أن عدد الفوتونات يمثل النشاط الإشعاعي A فإن:

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

جدول (2) مقارنه بين اشعة اكس واشعة جاما :

اشعة اكس	اشعة جاما
1- تنبعث عندما تعاني الالكترونات المداريه تغيرا في موقعها بين المدارات 2- طيفها قد يكون مستمرا او احديا 3- طيفها صفه مميزه للذرات	1- منشئها من نواة الذرة حيث تنتج من التغيرات التي تحصل في النواة 2- طيفها مستمر 3- طيفها صفه مميزه للنواة 4- يمكن ان يستخدم طيفها للتمييز بين

4- لا يمكن تمييز النظائر المختلفة بواسطة طيفها	النظائر المختلفة

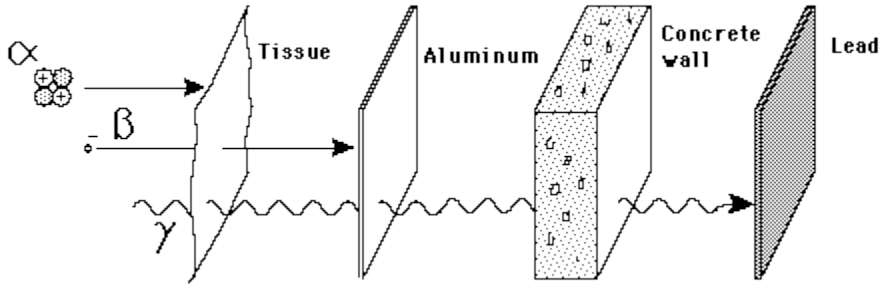
وليس لأشعة جاما مدى اختراق معروف في المادة المحيطة، وتستعمل قيمة السمك النصفي (Half Thickness Value) للتعبير عن ربط عدد الفوتونات مع سمك المادة الممتصة.

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

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

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

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



4.2. العناصر المشعة

يعرف العنصر المشع بأنه عنصر يحتوي على نواة غير مستقرة تضمحل بانبعاث جسيمات نووية (ألفا – بيتا – جاما) لتصل إلى حالة الاستقرار. ويوجد نوعان من العناصر المشعة، طبيعية وصناعية:

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

$$^1_1H + {}^1_1H \longrightarrow {}^2_1H + \beta^+ + \gamma$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 أهم هذه السلاسل سلسلة اليورانيوم 238 وسلسلة الثوريوم 232، بالإضافة إلى البوتاسيوم 40 الذي يوجد في القشرة الأرضية بنسبة 0.0117% من البوتاسيوم المستقر ^{39}K .

أ- **سلسلة اليورانيوم 238 :**

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

4.468109y **24.1d** **6.75h** **2.45×10^{5}y**

α **α** **α** **α**

$$^{230}_{90}Th \xrightarrow[8x10^4\ y\ \ 1.6x10^3\ y]{} {}^{226}_{88}Ra \xrightarrow[1.6x10^3\ d]{} {}^{222}_{86}Rn \xrightarrow[2.8235\ d]{} {}^{218}_{84}Po \xrightarrow[3.05\ m]{} {}^{214}_{82}Pb$$

$$^{214}_{82}Pb \xrightarrow[26.8\ m]{\beta} {}^{214}_{83}Bi \xrightarrow[19.7\ m]{\beta} {}^{214}_{84}Po \xrightarrow[164\ Ms]{\alpha} {}^{210}_{82}Pb \xrightarrow[22.3\ y]{\beta} {}^{210}_{83}Bi$$

$$^{210}_{83}Bi \xrightarrow[5.01\ d]{\beta} {}^{210}_{84}Po \xrightarrow[138.38\ d]{\alpha} {}^{206}_{82}Pb$$

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

ب- سلسلة الثوريوم 232:

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

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

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

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

ج- سلسلة البوتاسيوم 40 :

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

وحيث أن جسم الإنسان يحتوي على نسبة كبيرة من البوتاسيوم المستقر ^{39}K تساوي تقريبا 2.5 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.

ب-عناصر مشعة صناعية: وهي التي تصنع بواسطة قذف العناصر الثابتة بواسطة ألفا أو البروتون أو النيوترون. ولقد 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-67 ، الثاليوم-201 ، اليود-123 ، الإنديوم-111 ، الروبيديوم-81 ، النيتروجين-15 ، الفلور-18 ، السيزيوم-134 .

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 اختبار اللحامات(الاختبارات اللا إتلافية) ^{192}Ir .

5.2. النشاط الإشعاعي Radioactivity

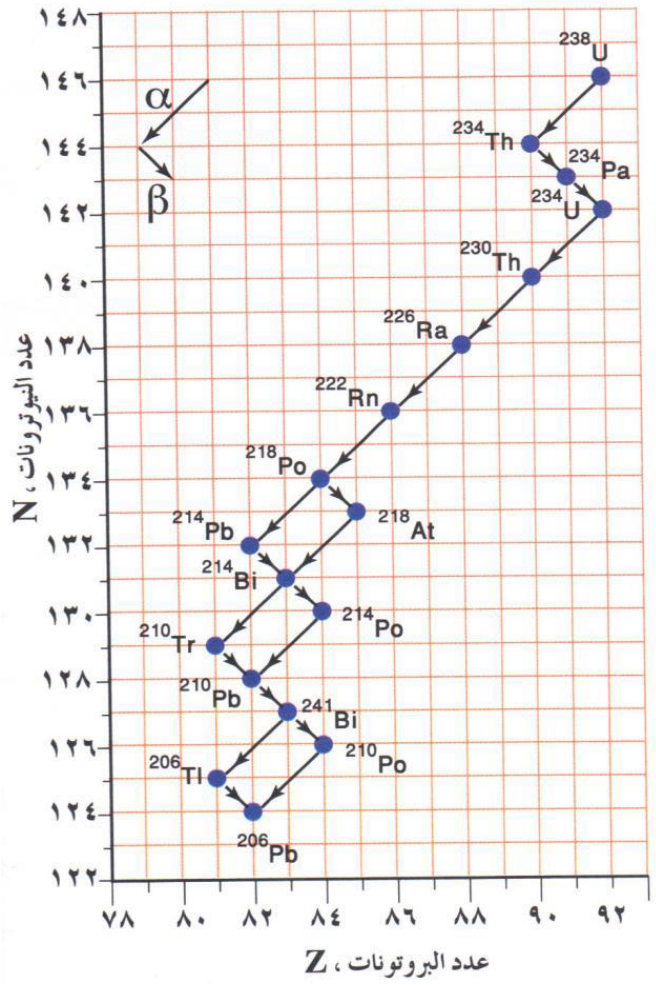
يتميز العديد من النظائر سواء الطبيعية أو الصناعية بخاصية النشاط الإشعاعي، وهي عبارة عن تفكك (اضمحلال) نواة النظير تلقائيا إلى نواة أصغر بإصدار جسيمات نووية مثل جسيمات ألفا أو بيتا أجاما، وتعرف هذه النظائر بالنظائر المشعة تميزا لها عن تلك النظائر المستقرة والتي لا تتعرض للتفكك Decay ولا تعتمد عملية التفكك 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.

1-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 استقرارا.

فمثلا: تتفكك نواة اليورانيوم $^{238}_{92}U$ إلى نواة الثوريوم $^{234}_{90}Th$ الأخف وينطلق نتيجة لذلك جسيم ألفا، كما هو واضح في الشكل (2-3).

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



شكل (2-3): مخطط الانحلال لليورانيوم-238

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 لانتقال النظير من الحالة المستقرة إلى حالة غير مستقرة أخرى قبل الوصول لحالة الاستقرار حيث ينبعث فرق الطاقة في صورة أشعة جاما لكي تصل النواة إلى حالة الاستقرار.

وعند انبعاث جسيمات ألفا يقل العدد الوزني للعنصر بأربعة ويقل العدد الذري اثنين، ويمكن حساب طاقة جسيمات ألفا المنبعثة كالتالي:

$$[M_p - M_d - M_\alpha] \times C^2 \times 931 = E_r$$

حيث أن M_p الوزن الذري اللأم Parent ، و M_d الوزن الذري للإبنة Daughter ، و M_α وزن جسيم ألفا المنبعث ، و E_r الطاقة الكلية المنبعثة نتيجة للانحلال (التفكك) وتساوي طاقة جسيمات ألفا + الطاقة المرتدة للذرة الابنة (≈ 0.1 Mev) .

2-التفكك بواسطة بيتا β-Decay

لكي تكون نواة نظير معين مستقرة يجب أن تكون النسبة N/2 نسبة معينة تتراوح هذه النسبة ما بين واحد للنظائر الخفيفة وتزداد حتى تصل إلى واحد ونصف للنظائر الثقيلة. فإذا كانت النسبة بين عدد النيوترونات والبروتونات تقع على منحنى الاستقرار كان النظير مستقرا.

وبالنسبة 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 الاستقرار وذلك عن طريق تحول اليوترون إلى بروتون كالتالي:

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

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 (1758/1 من α) ولذلك تستخدم النظائر التي تشع بيتا في إقتفاء الأثر الكيميائي.

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 الثنان إلى أشعة جاما (2 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 = 1.6375×10^{-13} J $= 9.1095 \times 10^{-31} \times (2.998 \times 10^{8})^2 \times 2$

$= 1.022 \times 10^{6}$ ev $= 1.022$ Mev $= (1.6375 \times 10^{-13})/(1.6022 \times 10^{-19})$

وهذه طاقة 2 فوتون، وكل فوتون يحمل طاقة قدرها 0.511 Mev وهي أشعة خارقة يمكن قياسها بسهولة لذلك يمكن استخدام النظائر التي تشع بوزيترون في الكيمياء لإقتفاء الأثر.

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 انطلاق أي جسيمات بيتا خارج النواة

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

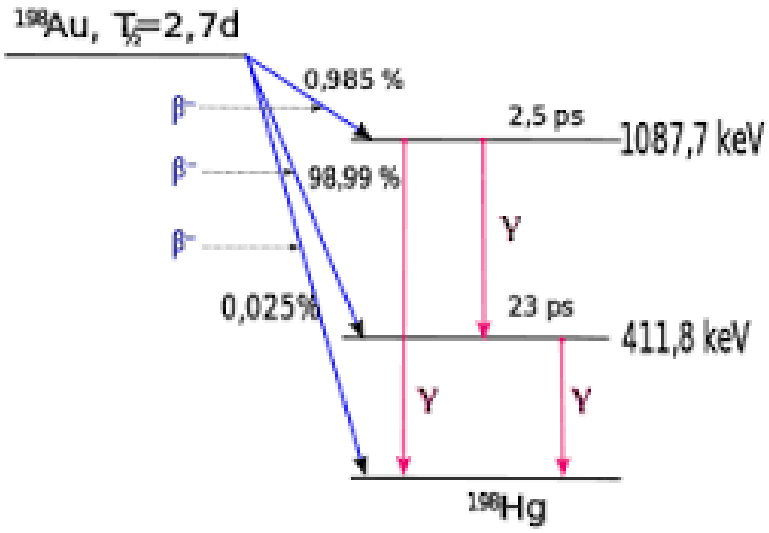
وأقرب إلكترون للنواة هو الإلكترون الذي في المدار K ولهذا يطلق عليه الأسر (K-K Capture) ، وينزل الإلكترون في المدار الأعلى ليملأ فراغ هذا الإلكترون. وهكذا حتى تصل إلى المدار الأخير. وتخرج أشعة نتيجة لترتيب الإلكترونات في المدارات هي أشعة إكس (x-ray) . ويمكن الاستدلال على الأسر الإلكتروني في النظائر بواسطة أشعة إكس الناتجة.

3. التفكك بواسطة أشعة جاما:

رأينا فيما سبق أن انبعاث جسيمات ألفا أو بيتا يعطي نواة الابنة في حالة غير 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):

1.التفكك البسيط: وفيه تشع جسيمات ألفا أو بيتا ذات طاقة واحدة ويصاحبها انبعاث لأشعة جاما ذات طاقة واحدة أيضا. مثل تفكك الذهب-198 الموضح في الشكل (4-2).



شكل (2-4): مخطط انحلال (تفكك) الذهب 198 .

2.التفكك المركب: وفيه يشع العنصر أكثر من جسيم بيتا أو ألفا ذات طاقات مختلفة وهذا يؤدي إلى أكثر من حالة لعدم الاستقرار للنواة الابنة وهذا يحتاج إلى انبعاث أكثر من أشعة جاما بطاقات مختلفة لكي تصل إلى حالة الاستقرار مثل تفكك اليود-130

التفكك بالتنشيط:

كل النظائر الموجودة في الطبيعة لا تتفكك تلقائيا إلا بالطرق السابقة انبعاث (ألفا أو بيتا أو جاما)، لكن بعض النظائر المصنعة من العناصر الانتقالية وجد أنها تنشطر تلقائيا (أي أن النواة تنقسم إلى جزيئين)، مثال ذلك:

تحلل الكالكليفورنيوم-252 حيث يتحلل وينبعث منه نيوترونات ولذلك يستخدم كمصدر للنيوترونات ولذلك يستخدم كمصدر للنيوترونات وأيضا اليورانيوم 235 وكذلك البريليوم 9 :

$$^{252}_{98}Cf \longrightarrow {}^{140}_{54}Xe + {}^{108}_{44}Ru + 4n + Energy$$

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow \text{Fission Products} + 25\ {}^{1}_{0}n + Energy$$

$${}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}\alpha \longrightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

6.2. قانون التفكك

عند ملاحظة التفكك الإشعاعي للعناصر المشعة وجد أن معدل التفكك في وحدة الزمن يتناسب مع العدد الكلي للذرات المشعة الموجودة. وعلى ذلك فإن ΔN عدد الذرات التي تتفكك في زمن قدره Δt يتناسب مع عدد الذرات المشعة N الموجودة عنج الزمن t أي أن:

$$-\Delta N/\Delta t \; \alpha \; N$$

$$-\Delta N/\Delta t = \text{Const.} \times N$$

$$-\Delta N/\Delta t = \lambda N$$

حيث أن λ ثابت التناسب ويسمى ثابت التفكك وهو خاص بكل عنصر وتختلف قيمته من عنصر لآخر. وبإعادة ترتيب المعادلة نجد أن:

$$\Delta N/N = -\lambda \Delta t$$

وبالتكامل ينتج:

$$\ln N + \text{Const.} = -\lambda t$$

بالتعويض في المعادلة بـ $t=0$ و $N=N_0$ ينتج:

$$\ln N_0 + \text{Const.} = 0$$

$$\text{Const.} = -\ln N_0$$

بالتعويض في المعادلة:

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t$$

$$\ln (N/N_0) = -\lambda t$$

$$N/N_0 = e^{-\lambda t}$$

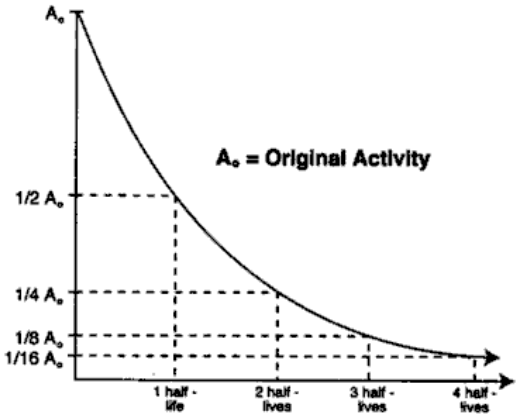
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

ومن الناحية العملية لا يمكن قياس عدد الذرات الموجودة عند الزمن الابتدائي $t_0 = 0$ وعدد الذرات الموجودة بعد زمن معين t، ولكن عمليا يمكن قياس النشاط الإشعاعي للعنصر A وهو يتناسب مع عدد الذرات (الأنوية) الموجودة N . وتصبح المعادلة السابقة على الصورة:

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

حيث أن A هي النشاط الإشعاعي للعنصر وهو عبارة عن عدد التفكك في الثانية. وهناك طرق عديدة لرسم العلاقة بين الانحلال الإشعاعي والزمن منها:

1-رسم العلاقة بين نسبة النشاط الإشعاعي مع الزمن كما هو موضح بالشكل (5-2).



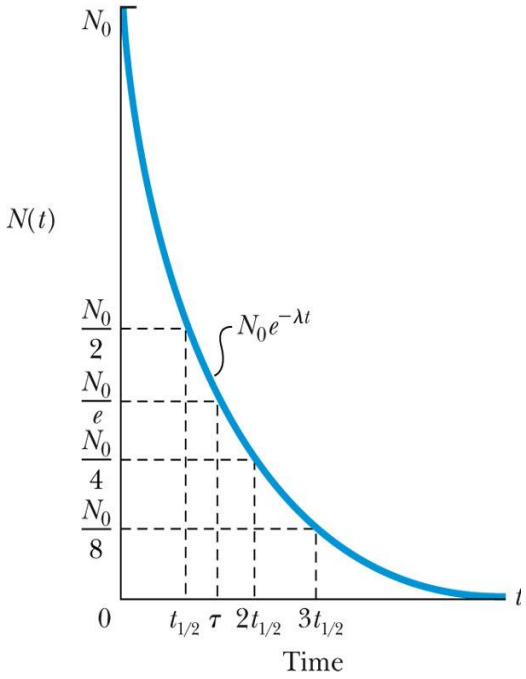


Figure 2-X. Radioactive Decay Plotted in Linear Form

شكل (2-5): العلاقة بين نسبة النشاط الإشعاعي والزمن.

2.رسم العلاقة بين لوغاريتم النشاط الإشعاعي A (للأساس 10 أو اللوغاريتم الطبيعي ln or log) والزمن.

$$\ln A = \ln A_0 - \lambda t$$

$$2.303 \log A = 2.303 \log A_0 - \lambda t$$

$$\log A = \log A_0 - \lambda / 2.303\ t$$

نلاحظ أن المعادلتين معادلة خط مستقيم وهي تمثل كالتالي:

$$Y = mx - C$$

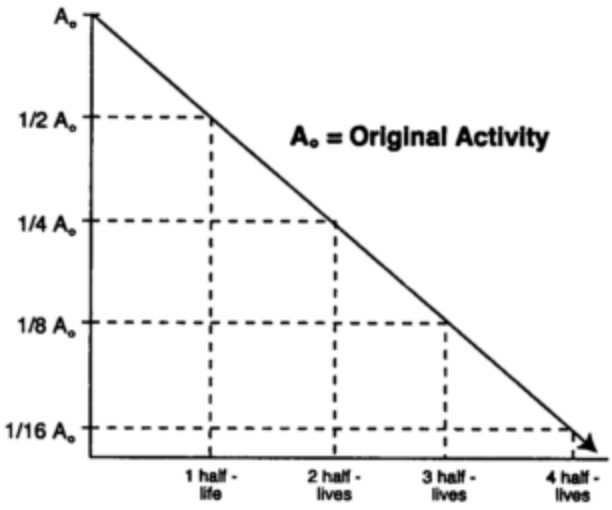


Figure 2-XI. Radioactive Decay Plotted in Semilogarithmic Form

شكل (2-6): العلاقة بين النشاط الإشعاعي والزمن

حيث وجد أن وحدات $\lambda = 1/t = \sec^{-1}$ or $\min^{-1}$ or h^{-1}

وهي علاقة خط مستقيم في المنحيين ويكون الميل في الشكل الأول يساوي $-\lambda$ وفي الشكل الثاني يساوي $-\lambda/2.303$ والجزء المقطوع في الشكل الأول يساوي $\ln A_0$ وفي الشكل الثاني $\log A_0$.

وبقياس النشاط الإشعاعي لأي عنصر في أي أزمنة ورسم العلاقة بين لوغاريثم النشاط الإشعاعي والزمن يمكن حساب ثابت التفكك لهذا العنصر الذي هو مميز ومنه يمكن التعرف على العنصر.

7.2. عمر النصف $T_{1/2}$

يعرف عمر النصف بأنه الزمن اللازم لتفكك نصف الذرات المشعة الموجودة أي عندما يكون الزمن $t = T_{1/2}$ فإن :

$$A = 1/2A_0$$

$$A = A_0 e^{\lambda t}$$

$$A_0/2 = A_0\, e^{-\Lambda t_{1/2}}$$

$$½ = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$2 = e^{\Lambda t_{1/2}}$$

$$\ln 2 = \lambda t_{1/2}$$

$$T_{1/2} = \ln 2/\lambda = 0.693/\lambda$$

فترة عمر النصف هي عبارة عن قيمة ثابتة لكل عنصر وتستعمل للتعرف على النظائر المشعة.

مسائل وتمارين:

1- النشاط الإشعاعي لنظير مشع يساوي 5000 تفكك في الثانية عند قياسه في بداية الزمن، وبعد 90 ثانية كان النشاط الإشعاعي 1500 تفكك في الثانية. احسب ثابت الانحلال؟
2- وجد أن معدل التفكك (النشاط الإشعاعي) لعينة يساوي 16000 تفكك في الدقيقة عند الساعة التاسعة في يوم معين. ما هو النشاط الإشعاعي لهذه العينة في الساعة 21 من اليوم التالي، علما بأن عمر النصف لهذه العينة هو 15 ساعة؟
3- أوجد النشاط الإشعاعي بعد مرور عشر أضعاف عمر النصف؟
4- ما هو سمك الرصاص اللازم لتقليل شدة الإشعاع من 160 بيكريل إلى 10 بيكريل إذا علمت أن السمك النصفي للرصاص يساوي 125 سم؟

8.2. وحدات النشاط الإشعاعي

تعرف وحدة الكوري Curi Unit (Ci) بأنها عدد التفكك في الثانية لجرام واحد من اليورانيوم 226 ، واستنادا إلى عمر النصف المساوي 1580 سنة يكون معدل انحلال جرام واحد من الراديوم 226 .

$$A = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-0.693/T_{1/2}\, t}$$

ملاحظة: الوزن الذري يحتوي على عدد أفوجادروا من الذرات.

حيث A_0 هي عدد الذرات الموجودة في جرام واحد من الراديوم = $6.02x10^{23}$/ 226.1

$T = 1$ sec.

$T_{1/2} = 1580x365x24x60x60$

إذا النشاط الإشعاعي لواحد جرام راديوم كوري

$$A= (6.02x10^{23} x0.693x1)/(226.1x1580x365x24x60x60) = 3.7x10^{10} \text{ dps}$$

dps = تفكك لكل ثانية disintegration per second

وقد وجد أن هذه الوحدة كبيرة فقد تم استخدام وحدة الإشعاع في نظام SI البيكريل وهو عبارة عن تفكك واحد في الثانية ويساوي $1/3.7x10^{10}$ من الكوري.

$1\ Bq = 1\ dps = 1/3.7x10^{10}\ Ci$

$1\ Bq = 2.7x10^{-11}\ Ci$

$1\ KBq = 2.7x10^{-8}\ Ci$

$1\ MBq = 2.7x10^{-5}\ Ci$

$1\ Ci = 3.7x10^{10}\ Bq$

$1\ mCi = 3.7x10^{7}\ Bq$

$1\ \mu Ci = 3.7x10^{4}\ Bq$

جدول (2): التحويلات الرياضية.

المصطلح	الاختصار	القيمة
الفيمتو Femto	F	10^{-15}
البيكو Pico	P	10^{-12}
النانو Nano	N	10^{-9}
الميكرو Micro	μ	10^{-6}
الملي Milli	m	10^{-3}
الكيلو Kilo	K	10^{3}
الميجا Mega	M	10^{6}
الجيجا Giga	G	10^{9}
الترا Tetra	T	10^{12}

9.2. العلاقة بين النشاط الإشعاعي والكتلة

النشاط الإشعاعي: يعطى النشاط الإشعاعي بالعلاقة التالية:

$$dN/dt = A = -\lambda N$$

وبمعرفة $T_{1/2}$ يمكن حساب λ من العلاقة:

$$\lambda = 0.693/ T_{1/2}$$

وبقياس النشاط الإشعاعي للمادة يمكن حساب عدد الذرات المشعة كما يلي:

$$N = (A/0.693) \times T_{1/2}$$

عدد المولات = N/ عدد أفوجادروا = عدد الأوزان المكافئة

الوزن = عدد الأوزان المكافئة X الوزن المكافئ

مثال:

احسب النشاط الإشعاعي لجرام واحد من الفسفور 32 النقي، علما بأن عمر النصف = 24.3 يوم.

الحل:

1 جرام = 1/ 32 مول من الفسفور $^{32}_{15}P$ 32

عدد الذرات في 1 جم = $1x6.022x10^{23}$/ 32 = ذرة من الفسفور

$T_{1/2}$ = 14.3 x 24 x 60 x60

$dN/dt = -\lambda N = (1x6.022x10^{23}\ x0.693)/(32x24.3x24x60x60)$

$= 1.0555X10^{16}$ dps

$= 1.0555x10^{16}$ Bq

$= 2.853x101^{0}$ Ci

الحامل (الناقل) والنشاط الإشعاعي الخاص Carrier and Speceific Activity

مما سبق فإن وزن قليل من المادة المشعة (العنصر المشع كله Carrier Free) يكون له نشاطا إشعاعيا عاليا. وعند استعمال هذا العنصر في الكيمياء عمليا يجب تقليل هذا النشاط الإشعاعي (لتقليل التعرض للإشعاع) ولذلك يخفف هذا العنصر المشع بواسطة كمية من نفس العنصر غير المشع. ويسمى هذا العنصر غير المشع بالحامل Carrier الذي يحمل معه العنصر المشع. وللتعبير عن تركيز المادة المشعة في هذه الحالة يجب استخدام نشاط إشعاعي خاص Specific Activity وهو عبارة عن النشاط الإشعاعي بالنسبة إلى تركيز المادة الكيميائية (المشعة أو الخاملة) وحسب وحدات SI يكون التركيز كالتالي:

النشاط الإشعاعي لكل مول من المادة الصلبة Bq/mol

النشاط الإشعاعي لكل جرام من المادة الصلبة Bq/g

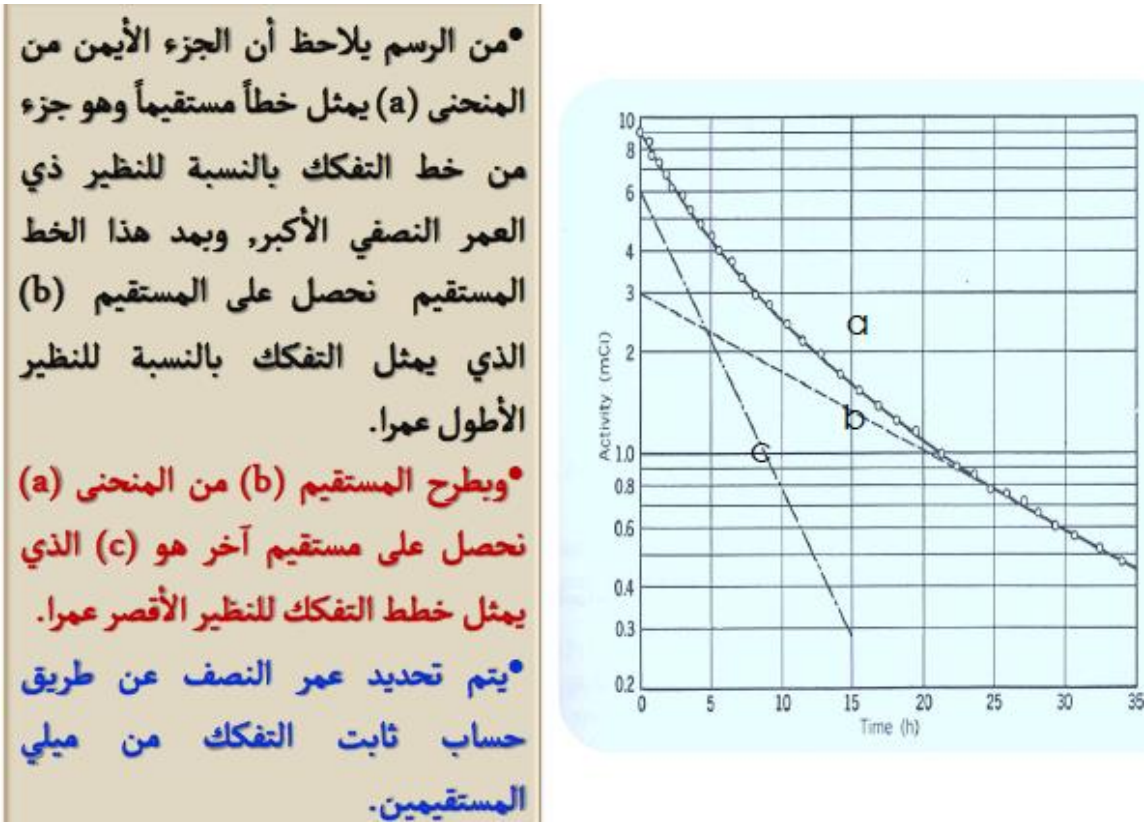
النشاط الإشعاعي لكل لتر من المادة السائلة Bq/dm^3

الانحلال أو النشاط الإشعاعي المركب (الانحلال المختلط):

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

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

يبين الشكل (7-2) منحنى الانحلال المركب لمزيج من نواتين فإذا كانت أعمار النصف للنويدات في المزيج مختلفة بدرجة كافية أمكن تحليل منحنى الانحلال إلى مكوناته الفردية وذلك بمد خط الانحلال للنويدة ذات العمر الطويل بالرجوع إلى t=0 وطرحه من منحنى الانحلال الكلي. إذا كان المنحنى الناتج خطي فإنه يمثل مادة مشعة واحدة، أما إذا كان المنحنى الناتج منحنى فإنه يمثل أكثر من نويدة ويجب تحليله مرة أخرى.



شكل (7-2): مخطط النشاط الإشعاعي المركب

الانحلال المتعاقب أو المتتابع Successive Radioactive decay

في هذا النوع من الانحلال 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 انحلالها، 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 انحلالهما على التوالي ويكون حل المعادلة كالتالي:

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

حيث أن N_1 و N_2 هي كمية النواة الأصل والوليدة على التوالي عند زمن $t = 0$.

يبين الحد الأول من هذه المعادلة كيفية تغير عدد النوى الوليدة مع الزمن نتيجة لتكوينها وانحلالها اللاحق. في حين أن الحد الثاني يبين انحلال تلك النوى الوليدة الموجودةعند $t = 0$.

وعندما تكون النواة الأصل نقية فإن N^0_2 عند t=0 وتصبح $N^0_2\ e^{-\lambda 2t} = 0$ وتصبح المعادلة كالتالي:

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

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

الحالة الأولى: الاتزان العابر Transient Equilibrium

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

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

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

$$\lambda_1 < \lambda_2 \qquad \text{or} \qquad \lambda_2 > \lambda_1$$

بعد مرور زمن كاف t_2 تصبح $e^{-\lambda 2t}$ صغيرة بالنسبة $e^{-\lambda 1t}$ ويمكن إهمالها وتصبح المعادلة بالصورة:

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

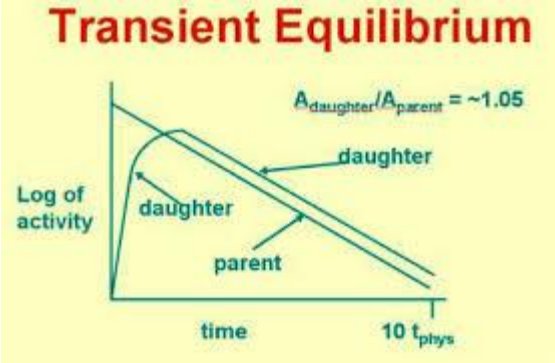
$$N_2/N_1 = \lambda_1/(\lambda_2 - \lambda_1)$$

إذا نسبة عدد الذرات الوليدة إلى عدد الذرات الأم = مقدار ثابت. وبما أن النشاط الإشعاعي $N\lambda$ يساوي

$$N_2\lambda_2/N_1\lambda_1 = \lambda_2/\lambda_1\ x\ \lambda_1/(\lambda_2 - \lambda_1)$$

$$A_2/A_1 = \lambda_2/(\lambda_2 - \lambda_1)$$

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



شكل(2-8): العلاقة بين لوغاريتم النشاط الإشعاعي والزمن في الاتزان العابر.

يوضح الشكل (2-8) العلاقة بين لوغاريتم النشاط الإشعاعي والزمن في الاتزان العابر، حيث يتضح أن النشاط الإشعاعي يزداد بزيادة الزمن. ويسمى هذا الاتزان **بالاتزان 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:

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

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

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

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

64d $\quad$ 515d

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

2h $\quad$ 20min

الحالة الثانية: حالة الاتزان المديد Seculer Equilibrium

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

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

i.e. $\quad \lambda_2 >>> \lambda_1$

فإذا كانت $\lambda_1 \approx 0$

إذا:

$$e^{-\lambda 1^t} = 1$$

$$\text{and} \quad \lambda_2 - \lambda_1 \approx \lambda_2$$

وبالتالي:

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

$$(\lambda_2 - \lambda_1) \approx \lambda_2 \quad , \quad e^{-\lambda 2^t} = 0$$

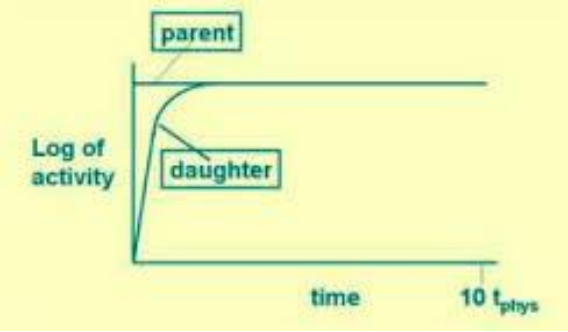
$$N_2 = \lambda_1/\lambda_2\ N^0{}_1\, e^{-\lambda 1^t}$$

$$N_2 = \lambda_1/\lambda_2\, N_1$$

$$N_2\lambda_2 = N_1\lambda_1$$

$$A_1 = A_2$$

أي أ، النشاط الإشعاعي للوالدة يساوي النشاط الإشعاعي للابنة وهذا يعني أن الوليدة تتحلل بنفس معدل تكوينها. كما هو واضح في الشكل (2-9)



شكل(2-9): العلاقة بين لوغاريتم النشاط الإشعاعي والزمن في الاتزان المديد.

ومن أمثلة هذا النظام (الاتزان):

$$^{137}Cs \xrightarrow[30\ y]{\beta^-} {}^{137}Ba \xrightarrow[26min]{\gamma} {}^{137}Ba\ (Stable)$$

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

28.1 y 64 h

الحالة الثالثة: اللاإتزان 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 انحلال 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:

$$^{218}_{84}P\sigma \longrightarrow {}^{214}_{92}Pb + \alpha$$

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

مسائل:

1-إحسب الوزن بالجرام للرصاص 214 الناتج عن تحلل واحد كيوري راديوم، علما بأن عمر النصف للرصاص 214 هو 26.8 دقيقة.

2-في الانحلال المتسلسل التالي

$$^{144}Ce \xrightarrow{\beta^-} {}^{144}Pr \xrightarrow{\beta^-} {}^{144}Nd$$

282 d 17.5 min

ما هو وزن ^{144}Pr لكل جرام من ^{144}Ce حينما يصل إلى حالة الاتزان المديد؟

الفصل الثالث: التفاعلات النووية

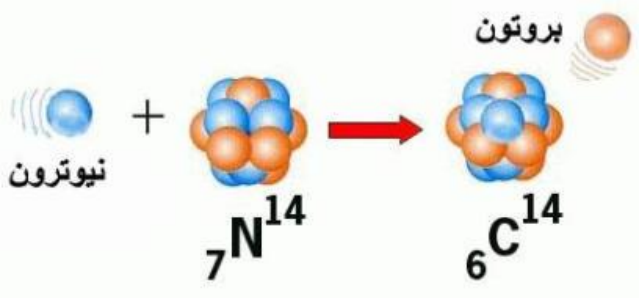
1.3. التفاعلات النووية

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 بالهدف ليكونا النواة المركبة التي تتفكك لتعطي نواتج التفاعل التي تعتمد على طاقة القذيفة.

التفاعل النووي	التفاعل الكيمياوي
1- ذرات عنصر واحد معين تتحول الى ذرات عنصر آخر 2- البروتونات والنيوترونات ودقائق اخرى تشارك في التفاعل ، في حين ان الالكترونات المدارية نادرا ما تشترك في التفاعل 3- التفاعل يصاحبه تغير كبير في الطاقة وتغيرات ممكن حسابها في الكتلة 4- سرعة التفاعل تتأثر بعدد النوى ولاتتاثربدرجة الحرارة او العوامل المساعدة او نوع المركب المتواجد فيه العنصر المشع	1- ماده واحده تتحول الى ماده أخرى ولكن لا تتغير هوية الذرات 2- الالكترونات المدارية هي التي تشترك في التفاعل حيث تتكسر اواصر وتتكون اواصر غيرها وان الدقائق النووية لا تشترك في التفاعل 3- التفاعل يصاحبه تغير طفيف في الطاقة بدون تغير في الكتلة 4- سرعة التفاعل تتأثر بدرجة الحرارة والتركيز والعوامل المساعدة ونوع المركب المتواجد فيه العنصر

النواة المركبة:

ذكر بوهر أن القذيفة تفقد جزءا من الطاقة الحركية أثناء التصادم الأول مع النيوكليونات داخل النواة، وتلتصق بالنواة وتكون النواة 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 النيوكليونات 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.



شكل (3-1): التفاعل النووي.

2.3. أنواع التفاعلات النووية

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

أولا: التفاعلات النووية بالنيوترونات:

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

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

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 (n,p) Reaction**

في هذا التفاعل يتحد البروتون بإلكترون 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 (n,α) Reaction**

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 (n,n) Reaction**

يتم هذا التفاعل عندما تكون طاقة النيوترون ما بين 100 كيلو إلكترون فولت إلى بضعة ميجا 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 الاستقرار بانبعاث أشعة جاما، والنواة الناتجة هي عبارة عن النواة المتفاعلة.

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

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 الانشطار 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 انشطار 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 (p-α) Reaction**

ينتج عن هذا التفاعل نواة مختلفة ونواة الهيليوم مثل:

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

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

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

يكون هذا التفاعل ماص للحرارة 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 (P,γ) Reaction**

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 (P, d) Reaction**

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 (d,α) Reaction**

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 (d,P) Reaction**

يعتبر هذا النوع من التفاعل طارد للحرارة والنواة الناتجة من التفاعل عبارة عن نظير للنواة المتفاعلة 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 (d,n) Reaction**

من أمثلة هذا النوع من التفاعل ما يلي:

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

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

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 جاما 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 Reaction (γ,P) .

3.3. الانشطار النووي

هو عملية تفتت أو انشطار نواة ثقيلة مثل نواة اليورانيوم إلى نواتين متقاربتين في الكتلة.

وكان اكتشاف الانشطار النووي نتيجة لمحاولة عمل عنصر له عدد ذري أكبر من 92 وذلك بواسطة تفاعل النيترون – جاما لنواة اليورانيوم ، ويصحبها تفكك النواة بواسطة β^- . وفي عام 1934 م اقترح فيرمي Fermi قذف نواة اليورانيوم بواسطة نيوترون لإنتاج عنصر عدده الذري أكبر من 92. وخلال هذه المحاولة تم الحصول على كل من $^{140}_{57}La$ و $^{139}_{56}Ba$ في نواتج التفاعل. وقد تم تفسير ذلك بأن ذرة اليورانيوم انشطرت إلى جزئين وهما ذرتين لعناصر متوسطة الوزن.

وإذا حدث هذا فعلا من وجود أنوية أوزانها الذرية في حدود 90 إلى 100 وعدد ذري في حدود 35.

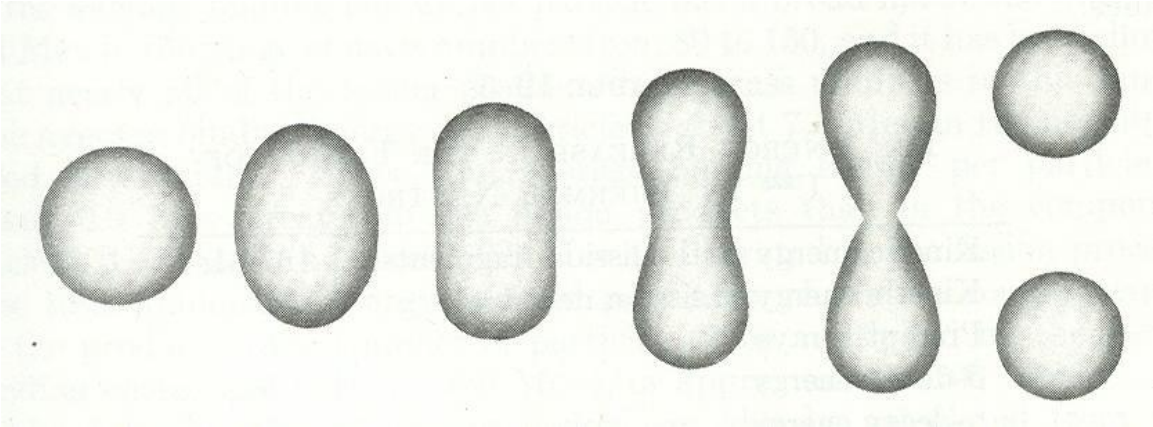
وأستطاع هانز واستر اسمان أن يجدا عناصر مشعة وهي نظير الإسترانشيوم Z= 38 ونظير التيريوم Z= 39 وهذا الذي يحقق المطلوب لتحقيق نظرية الانشطار. كما وجد نظير الكريبتون Z= 36 ونظير الزينون Z= 54 .

ولقد تم انشطار نواة كل من ^{235}U, ^{238}U, ^{232}Th وذلك بواسطة النيوترون والبروتون والديوترون وألفا وأشعة جاما وأشعة إكس ذات الطاقات المتوسطة. وقد أمكن حدوث الانشطار في الأنوية الأخف مثل : البزموث والرصاص والذهب وذلك بقذيفة ذات طاقة عالية جدا تصل بين 50 إلى 450 مليون إلكترون فولت. وقد وجد أن أنوية العناصر التالية: ^{232}U, ^{233}U, ^{235}U, ^{239}Pu, ^{241}Am, ^{242}Am يمكن انشطارها بواسطة نيوترونات بطيئة أو سريعة. أما العناصر ^{238}U, ^{231}Pa, ^{232}Th فتحتاج إلى نيوترونات سريعة لانشطارها ويخرج مع الانشطار كمية هائلة من الطاقة حوالي 200 مليون إلكترون فولت لكل انشطار وذلك لأن نواتج الانشطار عبارة عن أنوية متوسطة الوزن لها قوة ترابط عالية أكثر من النواة الأم الثقيلة. وترجع أهمية الانشطار النووي إلى كمية الطاقة الهائلة كما أن عدد النيوترونات الناتجة من الانشطار أكثر من نيوترون تسبب سلسلة من الانشطارات وقد وجد أن عدد النيوترونات الناتجة لكل نيوترون أمتص هي 1، 2 لليورانيوم- 235 و 3، 1 لليورانيوم -238 و 1،2 للبلوتونيوم-239.

4.3. نظرية الانشطار (نموذج قطرة السائل)

تم تفسير نظرية الانشطار بواسطة العالم بوهر و ويلر Bohr and Wheeler وذلك بتطبيق نموذج قطرة السائل على النواة فاعتبروا أن النواة مثل قطرة السائل أي أن لها شكل كروي A ، هذا الشكل الكروي يعتمد على التوازن الذي يحدث بين قوة الشد السطحي (قوة الترابط للنواة) وبين قوة التنافر الكولومية Coulomic Force فإذا أضفنا كمية طاقة إلى القطرة في صورة طاقة إثارة ناتجة عن استقبال نيوترون (مسك النيوترون بالنواة) فسوف يحدث ذبذبة في النواة تحاول تشويه الشكل

الكروي وتميل لتصبح في الشكل B ثم C وقوة الشد السطحي تحاول أن تعيد النواة إلى شكلها الأصلي . فإذا كانت قوة الإثارة أكبر بقدر كاف تأخذ الكرة الشكل D (الدمبل) وتعمل قوة التنافر على إبعاد الناقوس عن الآخر E إلى أن تنقسم الدنبل إلى كرتين متشابهتين F.

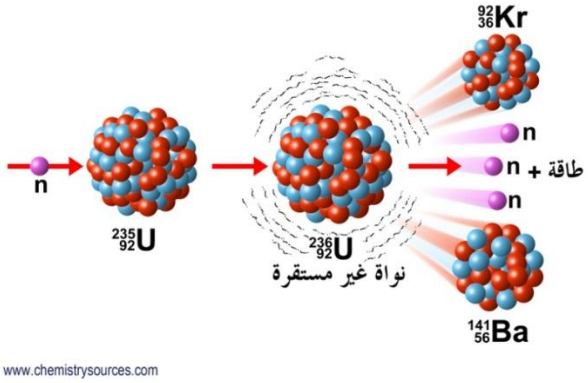


شكل (3-2): نموذج بوهر ويلر للانشطار النووي.

أما إذا كانت طاقة الإثارة غير كافية فإن الشكل D يمكن أن يرجع إلى الشكل الكروي مرة أخرى وتخرج كمية الطاقة (طاقة الإثارة) في صورة أشعة جاما.

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow [^{236}_{92}U]^{*} \longrightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3\,{}^{1}_{0}n + Q$$

حيث أن Q هي الطاقة المنطلقة في التفاعل ومصدرها النقص في الكتلة بين الجسيمات المتفاعلة والجسيمات الناتجة من التفاعل. ولقد وجد أن النقص في الكتلة يساوي 2154 وحدة كتلة ذرية. ويقابل هذا النقص في الكتلة تحول إلى طاقة تساوي 0.2154 x 931 = 200 Mev وهذه القيمة تفوق كمية الطاقة المنطلقة من الاحتراق بملايين المرات.



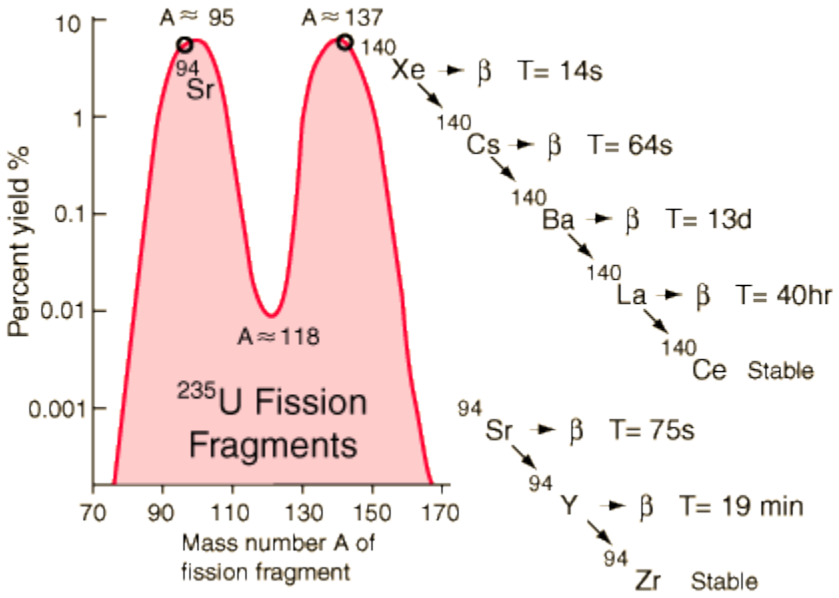
5.3. نواتج الانشطار

نتيجة لانشطار نواة اليورانيوم-235 ينتج عدد كبير من النظائر المشعة (الوليدة نتيجة الانشطار) وهذه العناصر توجد دائما في وسط الجدول الدوري للعناصر أي أن مدى العدد الذري لنواتج الانشطار يبدأ من Z= 30 للزنك إلى Z=65 للتربيوم. أما الأوزان الذرية بين الوزن الذري ونسبة وجود العناصر في نواتج الانشطار.

يتضح من الشكل أن هناك قمتين واسعتي المدى حول الوزن الذري A= 95 و A= 138 وأقل ناتج للمواد المشعة عند وزن ذري 235/2 أي عندما تنشطر النواة إلى عنصرين متماثلين في الكتلة. وقد وجد أن مجموع أوزان النواتج لكل قمة يساوي 100% تقريبا.

ووجد أن نواتج الانشطار تحتوي على عدد كبير من النيوترونات ولذلك فإن معظمها يتفكك بواسطة β^- وعندما يتفكك ناتج الانشطار بالانبعاث المتتالي لجسيمات بيتا فيطلق عليه سلسلة التفكك الانشطاري Fission decay chain وكل سلسلة تحتوي على ثلاثة عناصر على الأقل مثل:

$$^{147}_{66}Nd \xrightarrow[11d]{\beta^-} {}^{147}_{61}Pm \xrightarrow[4y]{\beta^-} {}^{147}_{62}Sm$$



شكل (3-3): العلاقة بين الوزن الذري ونسبة وجود العنصر في نواتج الانشطار.

6.3. الاندماج النووي

الاندماج النووي عبارة عن اتحاد أو اندماج نواتين خفيفتين $A \leq 8$ لتكوين نواة ذات وزن ذري أكبر من النواة المندمجة مع خروج طاقة هائلة. وعملية الاندماج هي عكس عملية الانشطار ولكن هناك عامل مشترك وهو إنتاج الطاقة، ففي الاندماج نجد أن طاقة الربط بالنسبة للنواة الكبيرة (أي النواة بعد الاندماج) أكبر بكثير من طاقة الربط للأنوية الخفيفة المندمجة (كما هو مبين في منحنى الطاقة) وهذا الفرق في الطاقة يخرج في صورة طاقة الاندماج كما أن النواة الناتجة في عملية الدمج أقل من مجموع كتل الأنوية الخفيفة المندمجة (المتفاعلة) وهذا النقص في الوزن يتحول إلى طاقة.

مما سبق يتبين أن طاقة الاندماج طاقة هائلة وهي عبارة عن فرق طاقة الربط + فرق الوزن الذي يتحول إلى طاقة.

هل يمكن استخدام طاقة الاندماج في إنتاج القوى الكهربائية؟

إن الطاقة الصادرة من الشمس والنجوم المختلفة هي عبارة عن طاقة ناتجة من الاندماج النووي الذي يحدث داخل هذه الكواكب لذلك نجد أن درجة الحرارة داخل الشمس تصل إلى 10^8 أو مليون درجة كلفن. هذه الحرارة تساعد على تأين العناصر فتتحرك النواة في هذه البلازما (البلازما عبارة عن نواة عادية + إلكترونات) فتتحرك النواة في هذه البلازما بسرعة عالية وعند التصادم يكون لها ميل شديد للاتحاد مع بعضها. وحينئذ تخرج كمية هائلة من الطاقة (تفاعل طارد للحرارة). ويسمى هذا التفاعل الذي يحدث في درجة حرارة عالية بالتفاعل النووي الحراري Thermo Nuclear Reaction. وأكثر التفاعلات النووية الحرارية شيوعا في النجوم هي دورة بروتون – بروتون ودورة الكربون Proton- Proton Cycle & Carbon Cycle.

دورة البروتون – بروتون:

$$^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{2}_{1}H + \beta^{-} + \gamma + 0.42\ Mev$$

$$^{2}_{1}H + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}H + \gamma + 5.49\ Mev$$

$$^{3}_{2}H + {}^{3}_{2}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + 2\,{}^{1}_{1}H + 12.86\ Mev$$

دورة الكربون:

$$^{12}_{6}C + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{13}_{7}N + \gamma + 1.95\ Mev$$

$$^{13}_{7}N + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{13}_{6}C + \beta^{+} + \gamma + 1.26\ Mev$$

$$^{13}_{6}C + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{14}_{7}N + \gamma + 7.55\ Mev$$

$$^{14}_{7}N + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{15}_{8}O + \gamma + 7.34\ Mev$$

$$^{15}_{8}O + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{15}_{7}N + \beta^{-} + \gamma + 1.68\ Mev$$

$$^{15}_{7}N + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{4}_{2}He + 4.96\ Mev$$

الطاقة الكلية للتفاعل تساوي 24.68 Mev.

ولقد تمت دراسة تفاعلات نووية حرارية في المعمل شملت نظائر الهيدروجين (الديوتيريوم ^{2}H والتريتيوم ^{3}H).

$$^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + n + 17.6\ Mev$$

$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}He + n + 3.2\ Mev$$

$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{1}H + {}^{1}_{1}H + 4.0\ Mev$$

ويوجد الديوتيريوم بكمية متناولة في محيطات العالم ولذا من أجل استخدامها في الأغراض السلمية يجب التغلب على مشاكل مختلفة منها:

احتواء البلازما عند درجة حرارة عالية تساوي تقريبا $10^{8}K$ وإلى الآن لم تكتشف مادة تتحمل درجة حرارة $10^{6}K$ لأنه عند هذه الدرجة تتبخر أي مادة تستخدم كحاوية للبلازما.

7.3. القنبلة الهيدروجينية

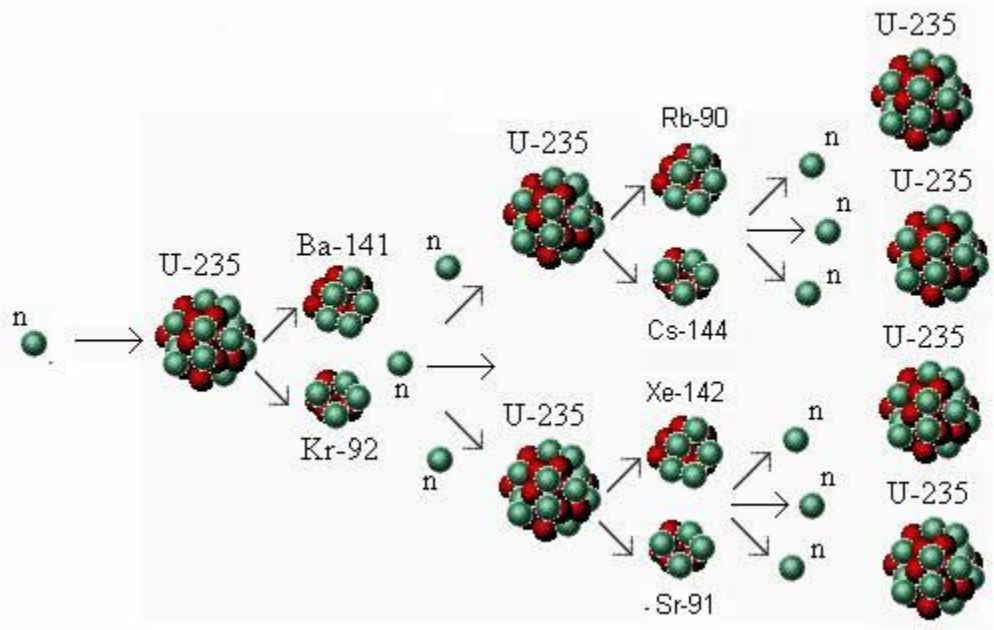
هي عبارة عن طاقة ناتجة من اندماج خليط من الديوتيريوم $^{2}_{1}H$ والتريتيوم $^{3}_{1}H$ وذلك بواسطة ضغطهما مع بعضهما في وجود حرارة ناتجة عن انشطار نووي.

علل : يعتبر النيترون أفضل أنواع القذائف
-نظرا لأن النيترون متعادل كهربيا . لا يتأثر بقوة تجاذب أو تنافر مع النواة أو مع الإلكترونات
-يصل مباشرة إلى مركز النواة بذلك يمكن قذفه بجميع السرعات و كتلتة مناسبة.
علل: لا يستخدم الإلكترون كقذيفة .
-لأن كتلته صغيرة جدا فلا يؤثر في النواة التي يقذف بها.
-سالب الشحنة بذلك يتأثر بقوة تنافر مع الإلكترونات الموجودة في مستويات الطاقة أو قوة تجاذب مع البروتونات الموجودة داخل النواة.

الفصل الرابع: المفاعلات والمعجلات النووية

1.4. المفاعلات النووية Nuclear Reactors

المفاعل النووي عبارة عن منشأة يتم فيها انشطار نووي متسلسل كما في الشكل (4-1) تحت السيطرة وكما ذكر سابقا ينتج عنه كمية من الطاقة بالإضافة إلى النيوترونات.

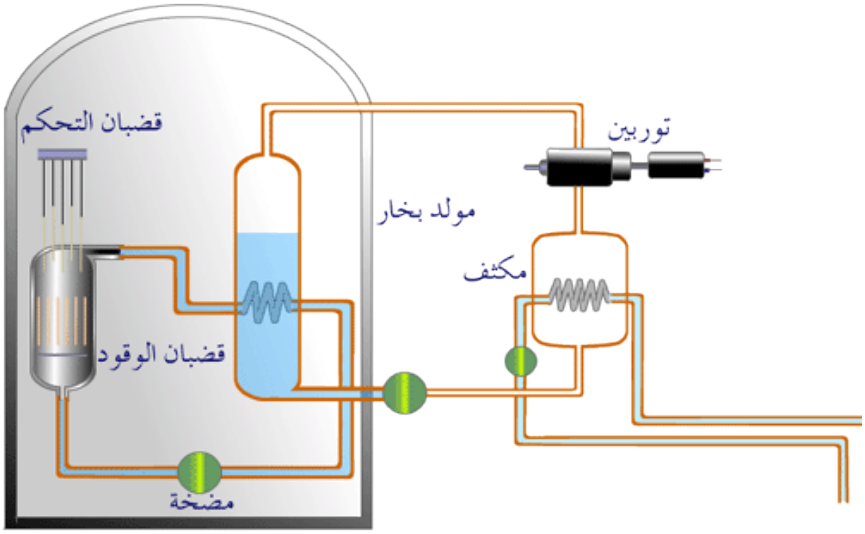


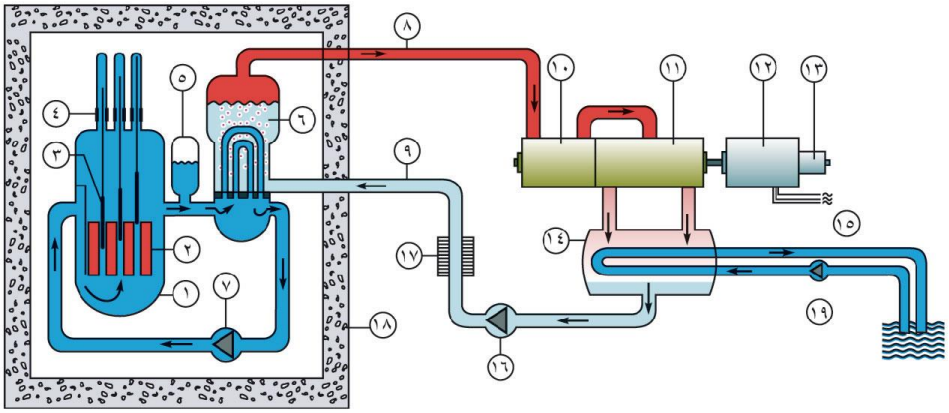
شكل (4-1): تفاعل انشطاري متسلسل.

يتم إنشاء المفاعلات النووية لإنتاج الطاقة مثل الطاقة الحرارية أو الطلقة الميكانيكية أو الطاقة الكهربائية وإنتاج المواد المشعة والمواد التي تستخدم في الأسلحة النووية، كما أنه يستخدم في خدمة البحوث النووية في الفيزياء والكيمياء.

2.4. تركيب المفاعل النووي

يتوقف تركيب المفاعل النووي على الغرض الذي يستخدم فيه ولكنه بصفة عامة يتكون كما هو موضح في الشكل (4-2):





١- وعاء المفاعل
٢- عناصر الوقود
٣- عناصر التحكم
٤- وحدة دفع عناصر التحكم
٥- مثبت الضغط
٦- مولدالبخار
٧- مضخة التبريد
٨- بخار
٩- ماء للتغذية
١٠- جزء الضغط المرتفع للعنفة
١١- جزء الضغط المنخفض للعنفة
١٢- المولد
١٣- المحرض
١٤- المكثف
١٥- ماء النهر
١٦- مضخات التغذية
١٧- وحدة التسخين المسبق
١٨- درع من الخرسانة
١٩- مضخات التبريد الثانوية

شكل(4-2): تركيب المفاعل النووي.

1-قلب المفاعل:

هو عبارة عن وعاء يتحمل الضغط العالي 15 atmosphere ودرجة حرارة عالية ، ويجب أن تكون مادته من النوع الثابت الذي لا يتحول بالإشعاع إلى مادة نشطة إشعاعيا، ويحاط الوعاء بدرع من الإسمنت المسلح الثقيل كحاجز واقي من الإشعاع لحماية العاملين، ويتم تركيب أعمدة الوقود وكذلك أعمدة التحكم على قاعدة مثبتة في أسفل وعاء المفاعل.

2-الوقود:

يتكون الوقود إما من:

- يورانيوم طبيعي U^{238} الذي يحتوي على 0.72% من اليورانيوم-235 U^{235} .
- يورانيوم مخصب الذي يحتوي على نسبة أكبر من 0.72% من اليورانيوم-235.
- يورانيوم-233 U^{233} .
- بلوتونيوم-239 Pu^{239} .

3-المهدئ Moderator

وهو عبارة عن جرافيت (كربون) أو ماء أو ماء ثقيل أو بريليوم أو أكسيد البريليوم. ويحيط المهدئ بالوقود وذلك لتهدئة النيوترونات السريعة وتقليل طاقتها من Mev إلى 1/40 Mev والتي تعتبر طاقة النيوترونات الحرارية القادرة على التفاعل الانشطاري مع نواة اليورانيوم.

4-أعمدة التحكم:

هذه الأعمدة مصنوعة من الكادميوم الذي له قابلية عالية لامتصاص النيوترونات الحرارية. وهذه الأعمدة تتحكم في قوة التفاعل وفي وقف التفاعل. حينما ترتفع إلى أعلى يبدأ التفاعل بالعمل وعندما تنزل إلى الأسفل أي تمتص جميع النيوترونات يتوقف التفاعل وبالتالي يتوقف المفاعل في هذه الحالة.

5-المبرد:

الطاقة الناتجة من الانشطار تتحول إلى طاقة حرارية داخل قلب المفاعل وتسحب هذه الطاقة بواسطة المبرد وهو إما أن يكون غاز مثل الهواء أو ثاني أكسيد الكربون أو الهيليوم أو قد يكون سائل مثل الماء أو الصوديوم السائل، ويتوقف نوع المبرد على درجة الحرارة داخل قلب المفاعل.

3.4. المعجلات النووية

ذكرنا سابقا أن التفاعلات النووية بالبروتونات والديوترونات وجسيمات ألفا تعتمد على طاقة القذيفة ولا يمكن حدوث تفاعل نووي بهذه الجسيمات السابقة دون طاقة حركية كافية للتغلب على قوة التنافر بين هذه الجسيمات الموجبة الشحنة ونواة الهدف التي تحمل شحنة موجبة أيضا وهذا التنافر يسمى بحاجز كولومب النووي.

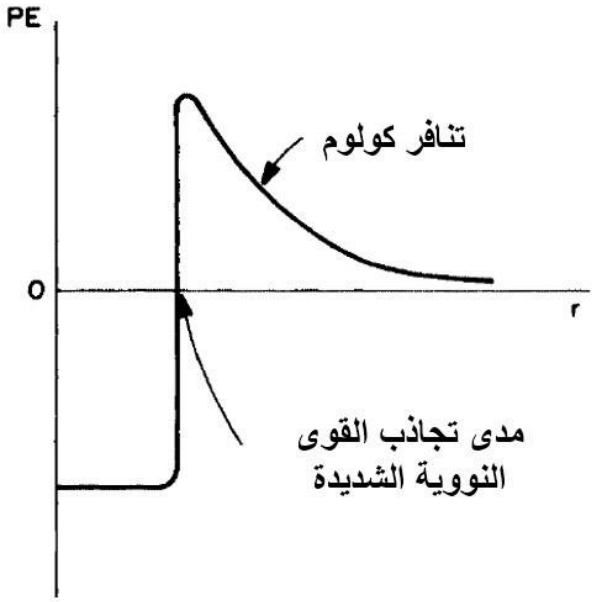
حاجز كولومب النووي:

هو عبارة عن قوة التنافر بين نواة الهدف والقذيفة اللتان تحملان شحنة موجبة ويساوي:

$$V = (Z_1 e \times Z_2 e) / D$$

حيث أن Z_1 و Z_2 هما العدد الذري للنواة والقذيفة، e شحنة البروتون وهي تساوي 4.8×10^{-10} e.s.u (وحدة إلكتروستاتيكية)، D هي المسافة بين الجسيمين (القذيفة والهدف) بالسنتيمتر.

تزداد قوة التنافر V كلما قلت المسافة بين النواتين إلى أن تصل إلى أقصى قيمة لها (حاجز كولومب) عندما تكون المسافة D تساوي مجموع أنصاف أقطار النواتين وبعدها يختفي التنافر لأن القذيفة تكون قد وقعت في جهد النواة (طاقة الربط).



شكل (4-3): حاجز كولومب النووي.

وتكون وحدة V بالإرج عندما تكون e بوحدة الإلكتروستاتيك، وتكون المسافة بالسنتيمتر. ويمكن تحويل وحدة حاجز كولومب (قوة التنافر) إلى Mev بالقانون:

$$1 \text{ Mev} = 1.6 \times 10^{-6} \text{ Erg}$$

$$1\text{Erg} = 6.25 \times 10^{5} \text{ Mev}$$

4.4. نصف قطر النوى Nuclear Radius

من التجارب العملية وجد أن حجم النواة V يتناسب طرديا مع العدد الكلي للنيوكلونات الموجودة في النواة أي أن $V \alpha A$

وبما أن $V = 4/3\pi R^3$ لأن $u\alpha R$

$$A \alpha R^3$$

$$R^3 \alpha A$$

$$R = Const. \times A^{1/3}$$

وقد وجد أن هذا الثابت يساوي $1.4\ fermi = 1.4 \times 10^{-13}\ cm$

إذا $R = 1.4 \times 10^{-13} A^{1/3}\ cm$

مسألة:

احسب طاقة القذيفة (جسيم ألفا) اللازمة للتفاعل مع نواة اليورانيوم-238 ؟

5.4. أنواع واستخدامات المعجلات النووية

تستخدم المعجلات النووية (المسرعات النووية) لتسريع الجسيمات النووية المشحونة لإكسابها طاقة كافية لإجراء التفاعلات النووية، ويتم إنتاج الجسيمات المشحونة (أيونات) بواسطة قذف ذرة الغاز (H^2, $^2H_2$, ^4He) بواسطة إلكترونات سريعة فينتج أيونات للغاز موجبة الشحنة (H^+,$^2H^+$, He^+) التي هي (البروتون، الديوترون وجسيم ألفا).

وهناك أنواع مختلفة من المعجلات ولكنها تشترك جميعا في استخدام المجال الكهربي في تعجيل الجسيمات ولكنها تختلف في الطريقة التي يطبق فيها هذا المجال الكهربي.

وعند وضع الأيونات في مجال كهربي ذو فرق في الجهد V ، تكتسب الأيونات طاقة حركية تساوي $K\text{-}E = Ve$ حيث V فرق الجهد الكهربي وe شحنة الأيون المطلوب تعجيله.

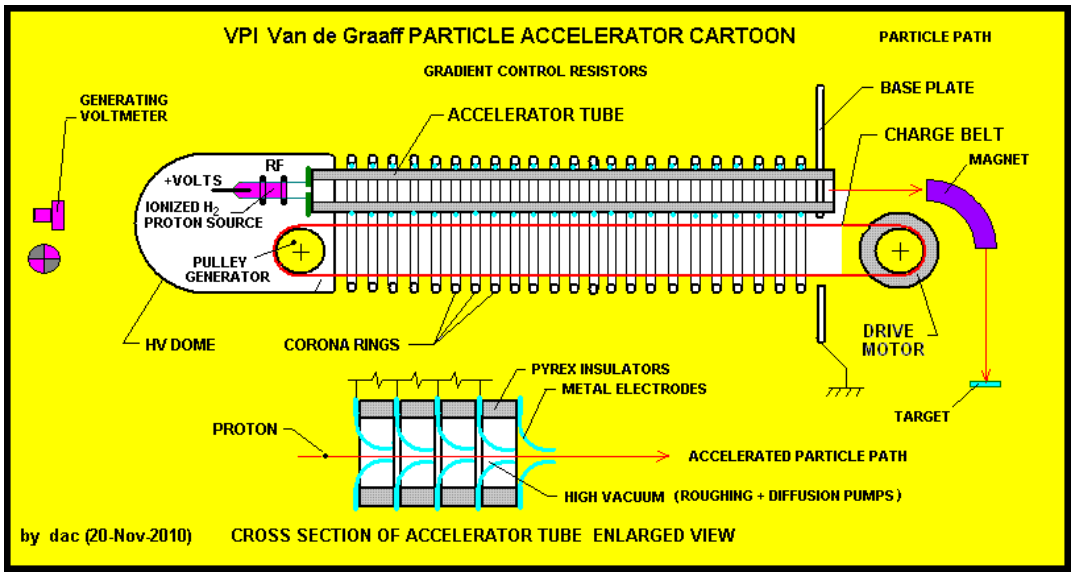
1-معجل فاندجراف Van de Graaff Accetrator

تم اختراع هذا المعجل عام 1931م بواسطة العالم فان دي جراف ، وتقوم فكرة هذا المعجل على توليد جهد مرتفع على سطح جسم كروي بواسطة النقل المستمر لشحنات إستاتيكية بواسطة سير متحرك إلى سطح الجسم الكروي (كما هو موضح في الشكل) ويستمر شحن السطح الكروي ويزداد الجهد على السطح الكروي حتى يصل إلى قيمة ثابتة (حوالي 750 كيلوفولت) عندما يكون معدل فقد الشحنة بواسطة السطح الكروي يساوي معدل انتقال الشحنة من السير.

ويتكون الفاندجراف من قطبين أحدهما السطح الكروي الذي يتم شحنه بواسطة السير وهو موجب الشحنة، والقطب الثاني عبارة عن الهدف وهو قطب سالب ويكون الجهد عنده = صفر، ولذلك يكون فرق الجهد بين القطبين يساوي 750 – صفر = 750 كيلوفولت.

ويوجد هذين القطبين في أنبوبة معدنية كبيرة تحتوي على غاز عازل مثل النيتروجين أو سداسي فلوريد الكبريت.

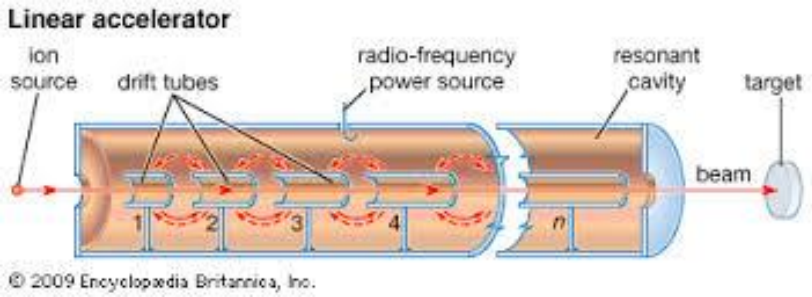
ومن الفاندجراف يمكن الحصول على فيض من البروتونات بطاقة تصل إلى 20Mev وفيض من جسيمات ألفا بطاقة تصل إلى 30Mev وللحصول على طاقة أكبر من ذلك وجد بعض الصعوبات في إنشاء أنبوبة فاندجراف أطول وجهد أعلى ولتفادي هذه الصعوبات اخترع العلماء السيكلوترون.



شكل (5-1): تركيب الفاندجراف.

2-المعجلات الخطية:

وفيها تسير الجسيمات في مسارات مستقيمة وتتلقى المزيد من الطاقة عند مواضع معينة في مسارها وقد صممت المعجلات الخطية لتعمل على تعجيل الإلكترونات والبروتونات.



شكل(5-2): تركيب المعجل الخطي.

يتكون المعجل الخطي كما يتضح من الشكل السابق من أنبوبة مصنوعة من الصلب مفرغة من الهواء، تحتوي على لأنبوبة نحاسية (أنبوبة التعجيل) تتصل بمصدر تيار عالي التردد تحقن البروتونات ذات طاقة حوالي 4 مليون إلكترون فولت في اتجاه محور الأنبوبة فتقطع الجسيمات مجموعة أنابيب التعجيل (أنابيب السحب) فتتعجل الجسيمات في الاتجاه الأمامي. وبازدياد سرعة البروتون لابد أن تزيد حول أنبوبة السحب حتى يبقى البروتون في نفس الطور مع المجال الكهربي ولا يحدث تعجيل عكسي.

وقد أمكن الحصول على بروتونات ذات طاقة تصل إلى 22 مليون إلكترون فولت من هذا المعجل، كما أمكن الحصول على إلكترونات وصلت طاقتها إلى بليون إلكترون فولت من معجل خطي طوله 66 مترا.

ومن مميزات المعجل الخطي سهولة خروج الجسيمات منه إذ أنها تسير في خطوط.

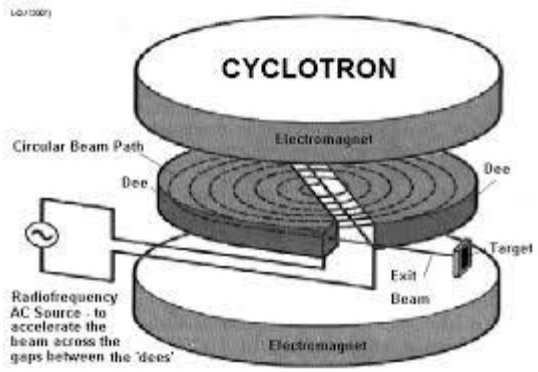
3-السيكلوترون Cyclotron accelerator

لقد تغلب العالمان لاورنس و لفينجستون E. O .Lawrence and M. S. Livingston على الصعوبات التي قابلتهم عند الحصول على طاقة عالية من معجل الفاندجراف المعجل الخطي وذلك باختراعهم السيكلوترون الذي تتسارع فيه الجسيمات باستخدام جهد منخفض نسبيا ويتكرر هذا التسارع عدة مرات إلى أن يتم الوصول للطاقة المطلوبة.

ويتكون السيكلوترون من أسطوانة مفلطحة معدنية على شكل نصفي دائرة كما هو موضح في الشكل يطلق عليهما اسم ديز ويشبه كل منهما حرف D. ويطلق على طرفي نصفي الدائرة فرق جهد متذبذب (حوالي 100 كيلوفولت) وتوضع الأسطوانة في صندوق مفرغ من الهواء ويوضع هذا الصندوق بين قطبي مغناطيس قوي بحيث يتولد مجال مغناطيسي عمودي على مستوى الأسطوانة ليبقى مسار الأيونات في مستوى أفقي.

وينشأ مصدر الأيونات في مركز السيكلوترون بين نصفي الدائرة وتتسارع الأيونات حينما تمر بين نصفي الدائرة (نتيجة لفرق الجهد بينهما) متجهه إلى النصف السالب وبداخله تتحرك الأيونات بشكل دائري نتيجة لتأثير المجال المغناطيسي العمودي عليه متجهه إلى النصف الثاني الذي تتغير شحنته وتصبح سالبة نتيجة للتيار المتردد وبذلك تنجذب الأيونات إليها وتتسارع مرة أخرى نتيجة لفرق الجهد بين نصفي الدائرة وتدخل الأيونات النصف المقابل بسرعة أكبر وبالتالي تدور نصف دائرة ذات قطر نصفي أكبر. وتتكرر هذه العملية وتزداد سرعة الأيون إلى أن تصل إلى السرعة المطلوبة (الطاقة المطلوبة) وبعد ذلك يتم انحراف مسار الأيونات بواسطة إلكترون الانحراف لتخرج من الديز وتقابل الهدف ويتم التفاعل النووي المطلوب.

ومن الممكن تسريع بروتونات بالسيكلوترون إلى طاقة تصل إلى 50 مليون إلكترون فولت. ويعتبر السيكلوترون مصدر منخفض الجهد نسبيا للجسيمات عالية الطاقة.



6.4. مصادر النيوترونات

لا توجد مصادر طبيعية للنيوترونات ولكن يمكن الحصول عليها عن طريق التفاعلات النووية والانشطار النووي.

1-مصادر النيوترونات الناتجة من التفاعل النووي:

تتحد العناصر المشعة لجسيمات ألفا قصيرة المدى ويمكن امتصاصها في وسط التفاعل لذلك يتم خلط المادة المشعة لجسيمات ألفا مع العناصر الخفيفة (البريليوم) فيتم الحصول على مصدر للنيوترونات.

ومن الأمثلة على مصادر النيوترونات:

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

$$(Ra + B) \longrightarrow {}^{11}B\ (\alpha, n)\ {}^{14}N$$

$$({}^{24}Na + Be) \longrightarrow {}^{9}Be\ (\gamma, n)\ {}^{8}Be$$

2-مصادر النيوترونات الناتجة من الانشطار النووي التلقائي:

الانشطار النووي التلقائي مثل لأي انشطار يصحبه انبعاث نيوترونات، فتعتبر العناصر التي يحدث لها انشطار نووي تلقائي من مصادر النيوترونات. ومن هذه العناصر عنصر الكاليفورنيوم ^{252}Cf حيث ينشطر منه 3.1% تلقائيا والباقي يتفكك بانبعاث ألفا. ويفضل عنصر الكاليفورنيوم كمصدر للنيوترونات أكثر من العناصر الأخرى، لأنه (الكاليفورنيوم) لا يحتوي على أشعة جاما.

مثال:

$$^{252}_{98}Cf \longrightarrow {}^{140}_{54}Xe + {}^{108}_{44}Ru + 4n + Energy$$

الفصل الخامس: النظائر المشعة وانتاجها

1.5. النظائر Isotopes

النظائر هي ذرات تحتوي أنويتها على نفس العدد من البروتونات ولكنها تختلف في عدد النيوترونات التي تحتويها. ويعني ذلك أن العدد الذري للعنصر الواحد لا يتغير في حين يتغير عدده الكتلي.

ولنظائر العنصر الواحد نفس الخواص الكيميائية حيث أن الخواص الكيميائية للعنصر يحددها عدده الذري، وعليه فإن النظائر المختلفة للعنصر لها جميعا نفس الخواص والتفاعلات الكيميائية بالرغم من اختلاف أوزانها الذرية.

الهيدروجين مثلا قد يوجد على ثلاث صور تحتوي نواة كل منها على بروتون واحد أي أن العدد الذري لها جميعا يساوي واحد ويدور حولها إلكترون واحد أيضا، بينما فيما بينها في عدد النيوترونات وبالتالي في عددها الكتلي، فالهيدروجين العادي لا يحتوي على أي نيوترون والهيدروجين العادي أو الثقيل (الديوتيريوم) يحتوي على نيوترون واحد ، أما الهيدروجين الثلاثي (التريتيوم) فيحتوي على نيوترونين بجانب البروتون.

وهكذا توجد نظائر متعددة لمختلف العناصر، كما يوجد كل عنصر في الطبيعة على شكل خليط من نظائره المختلفة بنسبة مئوية معينة.

فمثلا يوجد نظيرين للكلور في الطبيعة هما: الأول وزنه الذري يساوي 34.98 ويوجد بنسبة 75.4% والثاني وزنه الذري 36.98 ويوجد بنسبة 24.6% ، إذا الوزن الذري للكلور الموجود في الطبيعة وخليط من هذين النظيرين يساوي 46 35 ويمكن حسابه كالتالي:

$$(24.6/100 \times 36.98) + (75.4/100 \times 34\ 98) = 35.46$$

وتُعد النظائر المشعة من أبرز اكتشافات العلم الحديث وأعظمها، ومن أهم ما حققه الفكر الإنساني في الغوص إلى عالم الصغائر، للإجابة عن تساؤلات الحضارات المتلاحقة، حول المادة وسر تكوينها، فقد تمت الإجابة عن الكثير من التساؤلات، وأعطت النظائر المشعة بعض الإجابات الوافية والشافية عن تكوين الذرة والغوص في عمق النواة، وما زالت تساؤلات أخرى قائمة يطمح العقل البشري إلى الإجابة عنها كي يتعرف تعرفاً موثوقاً ومؤكداً على القوانين الطبيعية، التي تتحكم في الكون من أصغر الصغائر (الذرة) إلى أكبر الكبائر (الكون وبضمنه ما فيه ومن فيه.(تحتوي المادة المكونة للطبيعة على اثنين وتسعين عنصراً، نظمها العالم (ماندليف) في جدول دوري ورتبها في بيوت حسب رقمها الذري من الهيدروجين (1) إلى اليورانيوم (92)، وأضيف إليها خمسة عشر عنصراً، تم تصنيعها واكتشافها وتحديد مكانها في جدول العناصر (بعد بيت اليورانيوم)، وقد كانت النظرية السائدة أن كل ذرات العنصر الواحد متماثلة في الخاصيات، وتعطي النتائج نفسها في

التفاعلات الكيميائية، إلى أن تبين من خلال دراسة العناصر بطريقتي القطوع والمحلل الطيفي للكتلة، أن أغلب العناصر تعطي أكثر من قطع واحد ومن طيف واحد، وهذا يتناقض مع نظرية التماثل والتجانس، التي تستوجب وجود قطع واحد وطيف واحد، واستنتجت التجربة أن ذرات العنصر الواحد غير متماثلة في الكتلة، وبالتالي فهي مزيج ذو خاصيات كيميائية واحدة، وفيزيائية مختلفة، وبما أن ذراته متوازنة كهربائياً، فهي تضم في مداراتها العدد نفسه من الإلكترونات السالبة، التي توازنها الشحنة الموجبة نفسها في النواة.
وقد بينت التجارب على الأوكسجين الطبيعي أنه مزيج من ثلاث نظائر مستقرة: الأوكسجين 16 O^{16}_{8} والأوكسجين17 O^{17}_{8} والأوكسجين18 O^{18}_{8} ، والزئبق مزيج من تسعة نظائر. إلخ، وأطلق على هذه النظائر اسمisotopes ، من اليونانية iso وتعني (نفس)، و topesوتعني (مكان)، للتذكير بأنها تحتل المكان نفسه في جدول ماندليف الدوري للعناصر. وقد أعطى اكتشاف النترون عام 1932 تفسيراً جديداً لتركيب النواة، وأصبح التعريف الجديد للنظائر على أنها الذرات التي تضم العدد نفسه من الإلكترونات والبروتونات، لكنها تختلف في عدد نتروناتها، وكان لهذا الاختلاف في عدد النترونات نتائج هامة في الفيزياء النووية، إذ تتغير به بنية النواة، وتتبدل خصائصها واستقرارها بإضافة نترون واحد أو بحذفه منها، فتصبح فاقدة للاستقرار وفي حالة هيجان، وتصدر إشعاعات تختلف نوعيتها حسب درجة الإثارة، وتسمى هذه الذرات الهائجة بالنظائر المشعة. وتتكون الإشعاعات التي تصدرها الذرات المشعة طبيعياً، أو الذرات المستقرة التي وقع تهيجها وإثارتها في المفاعلات أو في المسرعات، من إشعاعات ذات طاقة مرتفعة (غاما)، أو من جزيئات مادية مشحونة بالكهرباء (السالبة والموجبة) مثل جزيئات بيتا (السالبة) وبيتا (الموجبة) وألفا (الموجبة)، وكذلك إشعاعات أخرى صنفت جميعها في مجموعات هي: الفوتونات، واللبتونات، والميزونات، والباريونات .
في البداية جرى الكشف عن النظائر المشعة بوساطة جهاز بسيط متكون من وريقات ذهب، وأول من فكر في استعمال هذا المكشاف في اقتفاء أثر المادة المشعة هو (هيفزي) الحاصل على جائزة نوبل عام 1943 عندما كان طالباً ومعيداً في مانشستر عام 1911، فقد كان يتناول طعاماً مطبوخاً منذ أيام وأسابيع، تقدمه له ربة المنزل المتواضع الذي كان يسكنه لتناسبه مع حالته المادية، فتشكك فيه، وتكدر منه، ولم يكن لديه دليل على إثبات قدمه، فما كان منه إلا أن وضع مادة مشعة في الطعام المتبقي من العشاء، وبعد أيام قدَّمت له الجارة الطعام نفسه، فقرَّب منه مكشاف الإشعاع البسيط، فشاهد حالاً انفراج وريقات الذهب، ولم تدرك ربة المنزل مرماه من هذه التجربة، وعدَّت أعماله ضرباً من السحر، وطلبت منه مغادرة منزلها. واكتُشفت بعض النظائر المشعة في الطبيعة مثل الراديوم، لكن أكثر الذرات المشعة تنتج في المفاعلات النووية، أو في المسرعات، وقد تمكن العلماء من تحضير نظائر مشعة لأغلب العناصر الطبيعية ومن فصلها عن مزيجها.

2.5. أنواع النظائر

تنقسم النظائر إلى نوعين:

- النظائر المستقرة.

- النظائر غير المستقرة أو النظائر المشعة.

وتنقسم النظائر المشعة إلى قسمين: **نظائر مشعة طبيعية:** وهي توجد في الطبيعة من خلق الله سبحانه وتعالى. **ونظائر مشعة صناعية:** هي من صنع الإنسان فقد تمكن من فضل الله تعالى من إنتاجها صناعيا ويستخدمها في الأغراض المختلفة.

يوجد 21 عنصر ليس لديها نظائر

عدد النظائر المستقرة 300 نظير

تم حضر ما يزيد على 1500 نظير مشع

3.5. إنتاج النظائر المشعة

يتم إنتاج النظائر المشعة المختلفة عند تعريض النظائر المستقرة لسيل من الجسيمات النووية كالنيوترونات أو البروتونات أو الديوترونات وكذلك عند تعريصها لجسيمات ألفا. ويستخدم لهذا الغرض المفاعلات النووية ومولدات النيوترونات كمصدر للنيوترونات، كذلك تستخدم المعجلات النووية كمصدر للجسيمات المشحونة كالبروتونات والديوترونات وجسيمات ألفا.

عملية تحضير النظائر

هناك طريقتين لتحضير النظائر

1 – الطريقة الأولى هي استخدام المفاعلات النووية : ويتم فيها قصف النويدات بنيوترونات تتولد من المفاعل النووي حيث تتم بإحدى الطرق الأتية :

A : الأسر النيوتروني : حيث تأسر النواة المستقرة احد النيوترونات الساقطة عليها ويستقر فيها فيتكون النظير الجديد لنفس النواة

$$^{23}Na + n \rightarrow ^{24}Na$$

B: التفاعل النووي المستحث بالنيوترونات : يحدث عند قصف نيوترون نواة واصطدامه ببروتون داخلها قاذفا إياه خارجها متحولة إلى نواة أخرى مشعه

$$^{24}_{12}Mg + n \rightarrow ^{24}_{11}Na + p$$

والنواة إلى نظيرين لنواتين جديدتين

$$^{235}_{92}U + n \rightarrow ^{142}_{56}Ba + ^{91}_{36}Kr + 3n$$

وتعد مفاعلات الأبحاث متوسطة القدرة ومفاعلات البركة السابحة والتي يتراوح الفيض النيوتروني فيها ما بين 10^{15} إلى 10^{11} نيوترون / سم^2 ثا من أكثر المفاعلات ملائمة لإنتاج النظائر حيث تتميز بسهولة عمليات إدخال وإخراج العينات وبالتالي سهولة التحكم بزمن التشعيع الذي يعد من العناصر الهامة في هذه العملية .

2 – الطريقة الثانية هي استخدام المعجلات النووية : وتتم بقصف النظير المستقر بحزمه من احد الجسيمات المشحونة المعجلة في معجل نووي والتي سوف تمتلك طاقه مقدارها ما بين 40 إلى 10 ميكا إلكترون فولت عند اصطدامها بالهدف

$$^{7}_{3}Li + p \rightarrow ^{7}_{4}Be + n$$

مزايا إنتاج النظائر بالمفاعلات

يمكن إنتاج مئات العينات من نفس النظير أو من النظائر المختلفة في آن واحد داخل المفاعل وذلك بوضعها في نفس الوقت وتعريضها للتشعيع سوية ، في حين ينتج المعجل نظير واحد فقط

مزايا إنتاج النظائر بالمعجلات

بعض النظائر المنتجة في المفاعل لا يمكن دراستها والتعرف على نوع الإشعاع الذي تبعثه وذلك لعدم ملائمة الخصائص النووية له في المفاعل لذلك يحضر مثل هذا النظير في المعجل .

إن بعض النظائر تحتاج لإنتاجها نويدات غير النيوترونات لذلك لا يستخدم المفاعل لإنتاجها لذلك يستخدم السايكلوترون لإنتاجها.

إن اغلب النظائر التي تستخدم للعلاج الإشعاعي تتميز بعمر نصف قصير لذلك يجب إن يكون مكان إنتاجها قريب من مكان استخدامها وهذا الشرط لا يمكن تأمينه عند استخدام المفاعل لبعده عن مكان استخدام النظائر للعلاج (المستشفيات) لذلك تبنى وحده لإنتاج النظائر داخل المستشفى وعلى جانب منها لتحقيق الشرط أعلاه .

مراحل إنتاج النظائر:

1 – إعداد النظير المستقر: النظير المستقر هو المادة الأولية التي ينتج منها النظير المشع ، لذلك يجب إن يكون على درجه عالية من النقاوة سواء كان عنصر ام مركب وبعد عملية التنقية يحفظ في وعاء التشعيع.

2 – عملية التشعيع: وهي عملية قصف النظير المستقر بإشعاع معين ، وتستمر لفترات تتفاوت تبعا لنوع النظير والنشاط الإشعاعي المطلوب للنظير وقد تستمر دقائق أو أيام أو أسابيع.

3 – المعالجات المختلفة للنظير المشع: وتتضمن فصل النظير الجديد المشع عن النظير المستقر الذي تبقى بعد عملية التشعيع وعن النظائر الأخرى الذي تكونت معه، واعتياديا يكون النظير المنتج بصيغه كيمياوية مناسبة للاستخدام للغرض المعين.

4 – تعقيم النظير المشع: حيث يتم في هذه المرحلة الحصول على نظير ذات نقاوة عالية جدا بحيث يمكن استخدامه للأغراض الطبية.

5 – تثبيت صفات وخصائص النظير : حيث يتم تعيين فترة صلاحيته وتحديد الشدة الإشعاعية النوعية له وكافة الأمور التي تتعلق بجودة المنتوج والوزن المطلوب للاستخدام وكمية الجرع التي يوفرها .

6 – تهيئة النظير للاستخدام : حيث يعبا بعلب خاصة مجهزه بدروع واقيه من الإشعاع ويحفظ في حاويات معده لهذا الغرض ومعلمه بعلامات الخطر من الإشعاع

متطلبات برنامج إنتاج النظائر:

1 – توفير قاعدة علمية وتقنية تقوم على أساس توفير مفاعل أبحاث متوسط القدرة ومعجل متغير الطاقة للجسيمات المشحونة تصل طاقتها إلى 40 ميكا إلكترون فولت

2 – توفير الوحدات التي تعني بإعداد المادة المطلوب تشعيعها ووحدات الفصل الكيمياوي والمعالجات الكيمياوية

3 – توفير مختبرات إجراء اختبارات الجودة والصلاحية

4 – توفير مختبرات إجراء القياسات الإشعاعية ، النشاط الإشعاعي للنظير ومقدار الجرع الإشعاعية للنظير

5 – وحدات تنفيذ الدروع الإشعاعية والمخازن الإشعاعية الملائمة ووحدات النقل الملائمة لهذا الغرض

6 – توفير المستشفيات التخصصية للمعالجة بالإشعاع بالإضافة إلى مختبرات التشخيص العالية الدقة وتوفير الكادر المتخصص والمتدرب جيدا لان الإشعاع سلاح ذو حدين إن لم يستخدم بصوره صحيحة فانه قاتل

5.4. استخدامات النظائر المشعة

أهم تطبيقات النظائر المشعة هو اقتفاء الأثر وتعقب حركة بعض الذرات ومسارها في الغازات والسوائل وفي الكائنات الحية الحيوانية والنباتية، وتشتمل هذه الحالات مجالات عديدة ومختلفة تمس مباشرة حياة الإنسان وتحسين عيشه في بيئة سليمة من التلوث، وتوفير الماء والغذاء وفي المعالجة

الصحية الناجعة، وفيما يلي بعض استخداماتها :

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

في مجال الطب: استعملت النظائر المشعة في مختلف اختصاصات الطب مثل التشخيص، والتصوير، والمعالجة، والتكهن بتطور المرض، وفي تعقيم الأدوات والضمادات، وفي تطوير اللقاح لحماية الحيوانات من الأمراض، بالإضافة إلى المعالجة الدقيقة لمرض السرطان بأشعة اليود وأشعة الكوبالت حسب مكان الورم.

في مجال الغذاء والزراعة: استعملت النظائر المشعة لتحسين الإنتاج الزراعي من خلال تحديد كمية الأسمدة اللازمة، ولإنتاج أصناف تعطي محصولين أو ثلاثة في العام، وفي مكافحة الحشرات الضارة والناقلة للعدوى، وكذلك استعملت في مراقبة الهرمونات التي تتحكم في تكاثر الحيوانات بتقصير المدة بين الولادات، والزيادة في عددها وتحسين نوعيتها، إضافة إلى استعمالها في تعقيم الأغذية (حبوب، فواكه، لحوم، سمك) وحفظها من التفكك والتعفن والتلف لمدة طويلة. أما في مكافحة الحشرات الضارة بالإنتاج الزراعي، والتي تنقل العدوى مثل ذبابة تسي - تسي، والبعوض، فقد أمكن للنظائر المشعة أن تعطي نتائج هامة في هذه المكافحة أحسن من المبيدات الكيميائية، التي أصبحت لا تؤثر على بعض الحشرات المكتسبة للمقاومة، إضافة إلى أنها تترك أثاراً سامة وخطيرة على جسم الإنسان، وتحدث تلوثاً للبيئة إلى درجة منع استعمال بعض هذه المواد الكيميائية.

في مجال المياه: استعملت النظائر المشعة في قياس السيلان السطحي لمياه الأمطار والثلوج، وفي معرفة جريان الأودية والأنهار، وفي قياس تسرب الماء من السدود والبحيرات، وكذلك في دراسة المياه الجوفية بتحديد مصدرها وعمرها وسرعة جريانها واتجاهها، وفي معرفة الاتصال بين الأحواض المائية وقابلية ترشحها. سوف نعود في مقالات قادمة إلى كل حالة من الحالات السابقة بالتفصيل والتحليل.

-في الصناعة-:

1- التصوير الإشعاعي:

من الخواص المميزة للإشعاع النووي قدرته الفائقة على اختراق الأجسام المختلفة، ويتوقف مدى اختراقه لجسم معين على معامل امتصاص هذه المادة لهذا الإشعاع، لذا فإن لكل مادة بصمة معينة لاختراقها بالأشعة، فمثلاً إذا كان لدينا جسم معين غير شفاف تستطيع الأشعة النووية بكل سهولة تصوير ما بداخل هذا الجسم إذا احتوى على مواد أخرى أو فراغات داخله، ومن طرق التصوير الإشعاعي التصوير بأشعة جاما حيث تستطيع الكشف عن عيوب عملية اللحام في خطوط الأنابيب وعيوب تصنيع المسبوكات وخاصة المستخدمة في صناعة الصواريخ وفى الطائرات والغواصات وسفن الفضاء، وتعتمد هذه الطريقة على تسليط أشعة جاما على العينة المفحوصة وتستقبل الأشعة بعد اختراقها للعينة على فيلم، وحيث أن امتصاص أشعة جاما يزداد بزيادة كثافة العينة المفحوصة فإننا نستطيع وبسهولة الكشف عن أي فراغات أو رواسب في العينة المفحوصة حيث تظهر هذه

العيوب والفراغات على الفيلم كمواضع داكنة داخل العينة ويشبه الفيلم هنا الصور المأخوذة بأشعة اكس، وهناك طريقة أخرى تعتمد على امتصاص النيوترونات الصادرة عن الكاليفورنيوم – 252، وعلى العكس فإن النيوترونات يزداد امتصاصها بانخفاض كثافة المواد المخترقة لها مثل المركبات العضوية والعناصر الخفيفة و البلاستيك والماء لذا فإن طريقة التصوير بالنيوترونات تهدف إلى كشف المواد الخفيفة داخل العناصر الثقيلة وفى فحص الدوائر الإلكترونية المطبوعة.

2-المعالجة الإشعاعية للمطاط :

تسمى المعالجة الإشعاعية للمطاط الطبيعي بالفلكنة الإشعاعية للمطاط والتي تكسب المنتج مرونة وشفافية عالية بالإضافة إلى خلوه من مادة النيتروزوامين المسرطنة وأكاسيد الكبريت و الزنك و انخفاض نسبة السمية فيه، وتعتبر هذه الخواص هامة جداً للاستخدامات الطبية، وعملية الفلكنة الإشعاعية بديل عن عملية الفلكنة التقليدية بالكبريت والتي ينتج عنها بقايا لمادة داى ثاى أكرياميت شديدة السمية والتي لها تأثيرات مسرطنة.

3- تزييف المجوهرات- :

من اللمسات السحرية للإشعاع النووي قدرته الفائقة على تزييف المجوهرات والأحجار الكريمة الصناعية بحيث لا يمكن معها التفريق بينها وبين الأحجار الكريمة الطبيعية، وفى هذه التقنية يتم تعريض هذه الأحجار إلى جرعات محددة من الإشعاع النووي الصادر عن النظائر المشعة أو المفاعلات النووية حيث تظهر بألوان طبيعية براقة لا تتأثر بالعوامل الطبيعية على مدى طويل من السنين، وما يحدث في هذه العملية هو اختصار لزمن تعرض هذه الأحجار للإشعاع الطبيعي، فمثلاً يمكن تحويل الياقوت الأصفر إلى أزرق أكثر جمالاً بقذفه بالنيوترونات أو بأشعة جاما الصادرة عن الكوبلت – 60.

الفصل السادس: تأثير الاشعاعات المؤينة على المادة وطرق قياس الاشعاع

1.6. تفاعل الإشعاع مع المادة

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

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

وجميع هذه الأشعة 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 إلى انخفاض احتمال 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 احتمال لأسر البوزيترون بواسطة أحد الإلكترونات في الوسط ومن ثم فنائهما

وانبعاث 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:

1-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.

2-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 جاما):

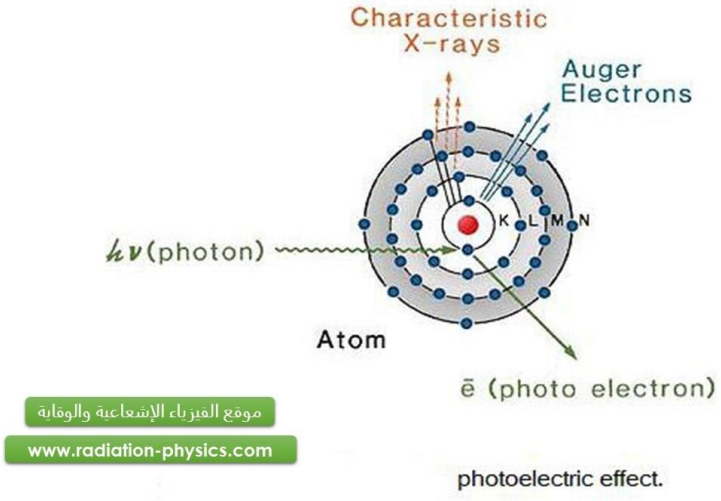
تتفاعل أشعة جاما مع المادة بإحدى الطرق الثلاث الآتية:

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 جاما.

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



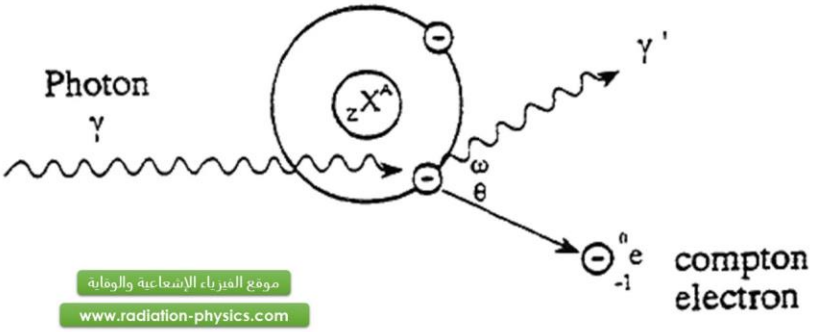
شكل (6-1): تفاعل أشعة جاما مع الإلكترونات الداخلية للذرة.

ب-أثر كومبتون Compton effect

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

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

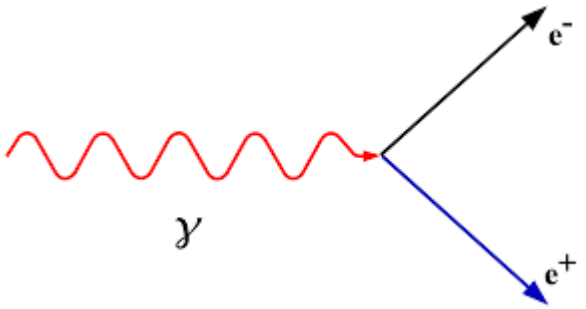
حيث E_{γ} طاقة أشعة جاما الساقطة و E_{γ}^{-} هي طاقة أشعة جاما بعد التشتت (الانحراف).



شكل (6-2): تفاعل أشعة جاما مع إلكترونات المدار الأخير.

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 1ذلك 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).



شكل (6-3): إنتاج الأزواج.

4-الكواشف الصلبة:

يوجد نوعان من الكواشف الصلبة هي:

أ- كواشف صلبة مصنوعة من مواد مفلورة:

تشع هذه الموادالمفلورة وميض ضوئي عندما تصطدم بها الأشعة المؤينة، ويستخدم هذا الوميض الضوئي في إنتاج تيار كهربي عن طريق سقوط هذه الومضة على مهبط حساس. ويتم تكبير هذا التيار بواسطة أنبوبة تكبير وينتج تيار من الإلكترونات يمكن الإحساس به وقياسه بواسطة الأجهزة الكهربائية.

ومن هذه المواد كبريتيد الزنك الذي يستخدم ككاشف لجسيمات ألفا، والأنثراسين الذي يستخدم للكشف عن جسيمات بيتا، وفلوريد الكالسيوم الذي يستخدم للكشف عن جسيمات ألفا وبيتا، ويوديد الصوديوم المستخدم للكشف عن أشعة جاما، ويستخدم للكشف عن النيوترونات البطيئة مادة الليثيوم أو البورون مع كبريتيد الخارصين حيث تتفاعل النيوترونات مع عنصر الليثيوم أو البورون وينتج من التفاعل جسيم ألفا الذي يحدث وميض في كبريتيد الخارصين.

$$^{6}_{3}Li + n \longrightarrow [^{7}_{3}Li] \longrightarrow {}^{3}_{1}H + {}^{4}_{2}He$$

$$^{10}_{5}B + n \longrightarrow [^{11}_{5}B] \longrightarrow {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He$$

$$^{4}_{2}He + ZnS \longrightarrow \text{flourecence}$$

أما النيوترونات السريعة فيستخدم للكشف عنها البارافين (الشمع) مع كبريتيد الخارصين، وبما أن البارافين يحتوي على كمية كبيرة من الهيدروجين الذي يتفاعل مع النيوترونات السريعة معطيا الديوترون والتريتيوم.

$$^{1}_{1}H + n \longrightarrow {}^{2}_{1}H$$

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

اللذان يتفاعلان مع كبريتيد الخارصين مسببا وميض ضوئي ويتحول الوميض الضوئي إلى تيار كهربي بواسطة المهبط الحساس وبقياس كمية هذا التيار وشدته يمكن معرفة كمية الأشعة وطاقتها.

ب-أشباه الموصلات Semi Conductors:

عندما تكون المادة نقية مع نسبة من الشوائب تصل إلى $10^{10}/cm^3$ تعرف المادة بأشباه الموصلات. وتتأثر أشباه الموصلات بالأشعة حيث يحدث فيها تأين ينتج عنه كمية كبيرة من الإلكترونات كافية لإحداث تيار كهربي في الدائرة الكهربائية، وتتناسب كمية هذا التيار مع الطاقة الإشعاعية الساقطة على شبه الموصل. ومن الأمثلة على هذا النوع من الكواشف كاشف الجرمانيوم عالي النقاء Hyper Pure Germanium (HPG) ويستخدم للكشف عن أشعة جاما.

2.6. أجهزة قياس الأشعة Radiation Instruments

هناك مجموعة من الأجهزة التي تستخدم للكشف عن الأشعة ومن أهم هذه الأجهزة ما يلي:

1-فيلم بادج Badge Film

وهو عبارة عن فيلم حساس صغير مساحته حوالي 2x3cm (يشبه فيلم الأسنان) مغطى بطبقة من البلاستيك المعتم لحمايته من الضوء موضوع داخل حقيبة من البلاستيك بها نافذة لدخول أشعة بيتا، أما أشعة جاما فإنها تخترق الحقيبة البلاستيكية وتصل إلى الفيلم، ويوجد داخل الحقيبة حاجز من الرصاص لامتصاص أشعة بيتا من قبل جزء من الفيلم ونفاذ أشعة جاما فقط. وعن طريق تحميض الفيلم يمكن معرفة نوع الأشعة وكميتها التي تتوقف على درجة عتامة الفيلم ويستخدم، ويستخدم هذا الفيلم للكشف عن الأشعة التي يتعرض لها العاملين سواء في مصانع أو في مراكز البحوث أو المستشفيات.

2-جهاز المسح الإشعاعي Survey Meter

يتكون جهاز المسح الإشعاعي عموما من كاشف إشعاعي ودائرة إلكترونية لتكبير التيار وقياس شدته أو عد النبضات الكهربائية الناتجة عن التيار الكهربائي في وحدة الزمن، وتزود هذه الأجهزة بجهاز صوتي يصدر صوتا كلما تم تسجيل نبضة فيه وبالتالي يمكن التنبه إلى وجود زيادة في مستوى الأشعة في البيئة، ويوجد منه أنواع مختلفة لقياس أنواع الأشعة المختلفة.

3-مقياس الجرعة الجيبي Pocket Dosimeter

وهو عبارة عن جهاز صغير يشبه قلم الحبر من حيث الشكل والحجم، ويتكون الجهاز من غرفة تأين أسطوانية تحتوي على قطبين أحدهما ثابت والآخر متحرك وهو الذي يعطي القراءة عند التعرض للأشعة ويستخدم الجهاز لقياس كمية الأشعة التي يتعرض لها الإنسان الذي يعمل بالمواد المشعة.

4-محلل وحيد القناة SINGLE Channel Analyzer

وهو يتكون من:

أ-كاشف إشعاعي: يتوقف نوعه على نوع الأشعة المراد قياسها كما في الأنواع السابقة الذكر.

ب-مكبر: يستخدم لتكبير الإشارة الكهربائية الناتجة من الومضة الضوئية المنبعثة من الكاشف الإشعاعي نتيجة لسقوط الأشعة على الكاشف.

ج-محلل طيفي: تختلف شدة الإشارات الكهربائية حسب طاقة الأشعة الساقطة ويقوم المحلل الطيفي بتحليل هذه الإشارات ليعطي طيف مختلف الطاقة.

د-العداد: يقوم العداد بعد كل الإشارات الكهربائية التي لها نفس الطاقة وبتغيير مفتاح الطاقة يمكن أخذ قراءة عد الإشارات الكهربائية للطاقات المختلفة التي تعبر عن عدد الإشعاعات الساقطة على الكاشف بطاقات مختلفة.

5-محلل عديد القنوات Multi Channel Analyzer

يتكون المحلل عديد القنوات من نفس الوحدات الموجودة في المحلل وحيد القناة إلا أنه يمكن عد الإشارات الضوئية المختلفة الطاقة في وقت واحد بعد تحليلها إلى طاقات مختلفة معطيا طيف متكامل لجميع الأنوية الموجودة في العينة المراد قياسها كما يعطي النشاط الإشعاعي لكل طاقة في آن واحد.

3.6. تأثير الأشعة المختلفة:

كما نعلم أن الأشعة تدمر الأنسجة الحية فمن الممكن أن تمزق الأشعة الخلية الحية فتموت ويصعب إصلاحها بواسطة الجسم، كما أنه من المحتمل أن تدمر الخلايا الوراثية التي لا يمكن تعويضها بواسطة الجسم وهذا يؤدي إلى أمراض السرطان أو خلل في العوامل الوراثية بالنسبة للأجيال.

وتتوقف تأثيرات الأشعة على الكمية التي يتعرض لها الجسم وتؤثر فيه، وتسمى كمية الأشعة الممتصة بواسطة كيلوجرام من الجسم بالجرعة المكافئة وتقاس بالسيفرت.

والسيفرت (Sv) Sievert عبارة عن كمية الطاقة (واحد جول) المنتقلة إلى كيلوجرام واحد من الجسم.

المراجع

1- الكيمياء النووية والاشعاعية في خدمة البشرية تأليف الدكتور محمود بركات فؤاد بركات، دار الفكر العربي
2- أسس الفيزياء الإشعاعية أ.د /محمد فاروق احمد و د /أحمد السريع
3- مبادئ الفيزياء النووية وتقنياتها للدكتور بسام محمد داخل.
4- محاضرات الدكتورة عائشة محمود التركستاني (أستاذ الكيمياء الفيزيائية المشارك بجامعة الملك عبدالعزيز) لمقرر كيمياء نووية واشعاعية

http://aalturkestani.kau.edu.sa/Content.aspx?Site_ID=0009212&Lng=AR&CID=37436

5- محاضرات الدكتور علاء خضير هاشم الربيعي (الاستاذ بجامعة بابل) لمقرر كيمياء نووية واشعاعية

http://www.uobabylon.edu.iq/uobColeges/pdf_lecturer.aspx?uid=1408

6- محاضرات الدكتورة عبير الحربي والدكتورة جميلة الزهراني (أستاذ الفيزياء النووية والإشعاعية المساعد) لمقرر كيمياء نووية واشعاعية

https://4212chem.wikispaces.com/home++%D8%A7%D9%84%D8%B5%D9%81%D8%AD%D8%A9+%D8%A7%D9%84%D8%B1%D8%A6%D9%8A%D8%B3%D9%8A%D8%A9?responseToken=d3b89711e9a1779457ec8cb882fc0a09