الفصل الثاني: النشاط الإشعاعي

1. تاريخ النشاط الإشعاعي:

- في عام 1896 ، اكتشف هنري بيكريل النشاط الإشعاعي الطبيعي حيث لاحظ أن خامات اليورانيوم تنبعث منها إشعاعات. حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1903.
- في عام 1898 ، عزل بيير وماري كوري من اليورانيوم عنصرين مشعين للغاية: الراديوم (Ra) والبولونيوم (Po) و فازا بجائزة نوبل في الفيزياء عام 1903. في عام 1911 فازت ماري كوري بثاني جائزة نوبل في الكيمياء.
- في عام 1899 ، اكتشف إرنست رذرفورد إشعاع ألفا وبيتا.
- في عام 1902 ، اكتشف إرنست رذرفورد وفريدريك سودي أن النشاط الإشعاعي يمكن أن يؤدي الى تحول عنصر كيميائي ما إلى عنصر آخر.
- في عام 1903 ، اكتشف إرنست رذرفورد أشعة جاما.

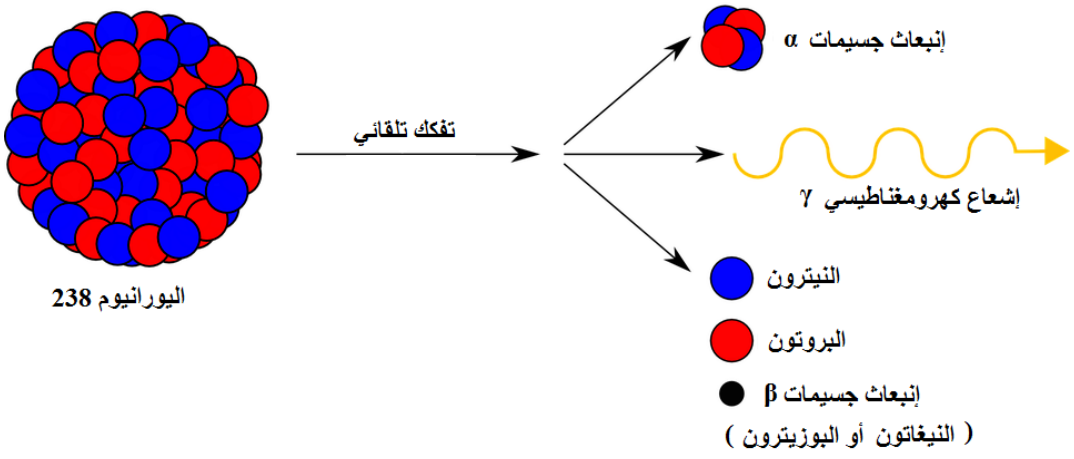
تعريف النشاط الإشعاعي : يُعرَّف النشاط الإشعاعي بأنه خاصية بعض النوى الذرية للتفكك بشكل طبيعي وتلقائي أو اصطناعي. ويترافق هذا التفكك مع إصدار جسيمات (ألفا ، بيتا ، نيوترونات) أو إشعاع كهرومغناطيسي (جاما) أو كليهما في نفس الوقت (الشكل 4).

النشاط الإشعاعي الطبيعي لمادة ما هو تلقائي ينتج عن عدم استقرار النواة ويرافقه:

- ظهور نواة جديدة مستقرة أو غير مستقرة.
- انبعاث الجسيمات: α أو β^+ أو β^- .
- انبعاث الإشعاع الكهرومغناطيسي (γ).

في الطبيعة ، هناك حوالي 300 نواة مختلفة (نكلويدات) nucléides.

يحدث النشاط الإشعاعي الاصطناعي عن طريق التعرض للأشعة (irradiation) أو قصف نوى الذرات (bombardement des noyaux).



الشكل 4: تحلل اليورانيوم 238.

2. خواص الأشعة المختلفة

أنوية بعض العناصر غير مستقرة وتتحلل إلى عناصر جديدة. يصاحب هذا التفكك انبعاث الجسيمات α وβ والإشعاع الكهرومغناطيسي γ.

جميع العناصر التي تحتوي على أكثر من 83 بروتونًا مشعة و من الممكن تصنيع نظائر مشعة اصطناعية غير موجودة في الطبيعة.

1.2.الاشعاع α

تتحلل الأنوية الثقيلة جدًا إلى أنوية أخف. يصاحب هذا التفكك انبعاث جسيمات ألفا والتي هي نوى الهيليوم و كان بكرل أول من تعرف عليها.

معادلة التفكك تكتب على الشكل التالي: ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$

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

2.2. جسيمات β

عبارة عن جسيمات يمكن أن تكون مشحونة سالبا أو موجبة الشحنة (تعرف عليها النيوزيلندي إرنست رذرفورد).

جسيمات β المشحونة سالباً (β^-) تسمى نيغاتونات (negatons).

معادلة التفكك تكتب: ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$

مثال: ${}^{124}_{53}I \rightarrow {}^{124}_{54}Xe + {}^{0}_{-1}e$

أما جسيمات β المشحونة موجبا (β^+) تسمى بوزِيتْرونات (positrons).

معادلة التفكك تكتب: ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e$

مثال: ${}^{124}_{53}I \rightarrow {}^{124}_{52}Te + {}^{0}_{+1}e$

ملاحظة: إن جسيمات بيتا أكثر نفوذاً من جسيمات ألفا. ويعود ذلك لسرعتها الكبيرة التي تصل حتى 250.10^3 Km/s.

3.2. الإشعاع γ

لا ينتج عن انبعاث إشعاع γ أي تغير في كل من A أو Z للعنصر المشع، فقط الكتلة الذرية تقل بمقدار مكافئ للطاقة $h\upsilon$ للإشعاع المنبعث. إنها ببساطة إعادة تنظيم داخلي للنواة.للإشعاع γقدرة اختراق أكبر بكثير من قدرة جسيمات ألفا وبيتا ، لكنه أكثر تأينًا.معادلة التفكك تكتب : ${}^{A}_{Z}X^* \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$

الأنواع الثلاثة من النشاط الإشعاعي (α، β^- ، β^+) غالبًا ما تكون مصحوبة بانبعاث إشعاع كهرومغناطيسي **γ** ذي الطاقة العالية جدًا (أعلى من تلك الخاصة بالأشعة السينية) و أطوال موجة قصيرة جدًا ($1A° - 10^{-4} A°$).

3. الفرق في الكتلة، طاقة الربط ، طاقة التماسك

1.3. الفرق في الكتلة

يُعرَّف الفرق الكتلي بأنه الفرق بين كتلة النيوكليونات وكتلة النواة. يشار إليه Δm. بالنسبة إلى نوكليد معين $^{A}_{Z}X$ ، تتم كتابة الفرق الكتلي: Δm = كتلة النكليونات التي تتكون منها النواة - كتلة النواة.

و يعبر عن الفرق في الكتلة رياضيا ب : $\Delta m = [Z.\ m_p + (A- Z)\ .m_n] - m_{noyau}$

مثال :

أحسب Δm لنواة الهليوم $^{4}_{2}He$ حيث الكتلة المقاسة لنواة الهليوم تساوي $m_{réel}$= 4.002u.m.a .

معطيات :

كتلة النيوترون	كتلة البروتون
m_n	m_p
1.0086u.m.a	1.0074u.m.a

باعتبار نواة الهليوم تكونت من اتحاد 2 بروتون و 2 نيوترون:

$$m_{th} = [Z\ .\ m_p + (A\text{-}Z)\ .\ m_n]$$

$$m_{th} = [2\ .\ 1{,}0074 + 2\ .\ 1{,}0086] = 4{,}032\ u.m.a$$

و منه $\Delta m = m_{th} - m_{réel} = 4{,}032 - 4{,}002 = 0{,}030\ u.m.a$.

ملاحظة :وفقًا لعلاقة أينشتاين، تتحول هذه الكتلة المفقودة إلى طاقة. وبالتالي، فإن تكوين نواة الهليوم يترافق مع تحرير للطاقة .

وفقا لنظرية أينشتاين ، هناك تكافؤ بين الطاقة والكتلة. وهذا يعني أنه يمكن تحويل الكتلة إلى طاقة والعكس صحيح.

و ذلك حسب العلاقة: $\mathbf{E = m.c^2}$

E = الطاقة (joule) ؛ m = الكتلة (kg) ؛ C = سرعة الضوء ($C= 3{\cdot}10^8$ m/s)

2.3. طاقة الربط

يحدد الطاقة المحررة أثناء تكوين النواة من الترابط بين البروتونات والنيوترونات:

طاقة الربط = (الكتلة النظرية – الكتلة التجريبية للذرة) × مربع سرعة الضوء ($C= 3{\cdot}10^8$ m/s)

$\mathbf{E = \Delta m.C^2 < 0}$ <= هذه **الطاقة سالبة**.

3.3. طاقة التماسك

هي الطاقة اللازمة لتفكيك نواة إلى بروتونات ونيوترونات.

طاقة التماسك = (الكتلة التجريبية للذرة – الكتلة النظرية) × مربع سرعة الضوء ($C= 3{\cdot}10^8$ m/s)

$\mathbf{E = \Delta m.C^2 > 0}$ <= هذه **الطاقة موجبة**.

4.3. طاقة التماسك (أو طاقة الربط) لكل نكليون (معامل الاستقرار للأنوية)

لمقارنة استقرار الأنوية ، يفضل التعامل مع الطاقة اللازمة لكل نكليون ، وتُعرَّف هذه الطاقة بأنها نسبة طاقة التماسك E_C إلى العدد الكتلي **A**. أي : **طاقة التماسك**=E_N **/A** ، كلما كانت هذه النسبة أكبر كلما كانت النواة أكثر استقرارا.

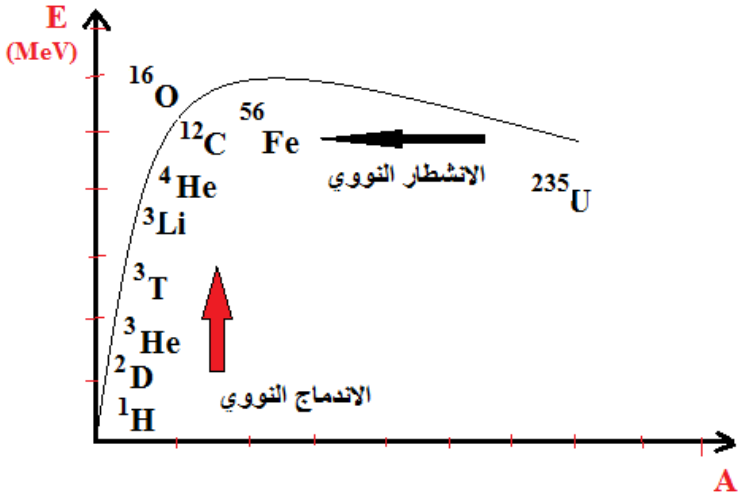
$E_N = E_C / A$ (Mev / nucleon).

و يفضل أن تحسب طاقة الربط لكل نكليد ب إلكترون فولط (ev) وفق التحويلات التالية :

1ev = 1,6 10^{-19} joule **1Mev = 10^6 ev** **1Mev = 1,6 10^{-13} joule**

5.3. منحنى أستون (Courbe d'Aston)

طاقة الربط لكل نكليون تمثل الطاقة اللازمة في المتوسط لانتزاع نكليون من النواة. إنه معيار استقرار النواة. تم تسمية منحنى طاقة الترابط بدلالة عدد النكليونات على اسم الفيزيائي الإنجليزي أستون (الشكل 5)، الذي كان أحد رواد قياسات كتل النوى وفاز بجائزة نوبل في عام 1922. ويوضح الشكل أدناه العلاقة بين طاقة الربط لكل نيوكلون والعدد الكتلي للعناصر المختلفة. حيث يوضح المنحنى أن طاقة الربط للنواة الخفيفة ^2D صغيرة جدا وهذا يدل على عدم إستقرار هذه الأنوية. وتزداد قيمة $\Delta E/A$ إلى أن تصل قيمة عالية حوالي 8.8Mev عند النويدات ذات عدد كتلي A=50 وبعدها تقل قيمة طاقة الربط كلما زاد الوزن الذري لتصل إلى 7.6Mev لليورانيوم (نواة غير مستقرة).



الشكل 5: منحنى أستون.

4. قانون الانحلال الإشعاعي (التفكك الإشعاعي)

تنص ظاهرة النشاط الإشعاعي الطبيعي بأن ذرات العناصر المشعة تتفكك نتيجة لما ينبعث منها من جسيمات ألفا α أو بيتا β، مما يؤدي إلى تشكل عنصر جديد يختلف تماماً في خواصه الفيزيائية والكيميائية عن العنصر الأصلي .

ينص قانون الانحلال الاشعاعي على أن عدد الأنوية المتبقية من انحلال أي مادة مشعة هو دالة أسية سالبة مع الزمن.

ليكن N_0 عدد الأنوية الابتدائية لعينة مشعة في اللحظة t = 0

و لتكن N_t عدد الأنوية المتبقية بعد التفكك عند اللحظة الزمنية t

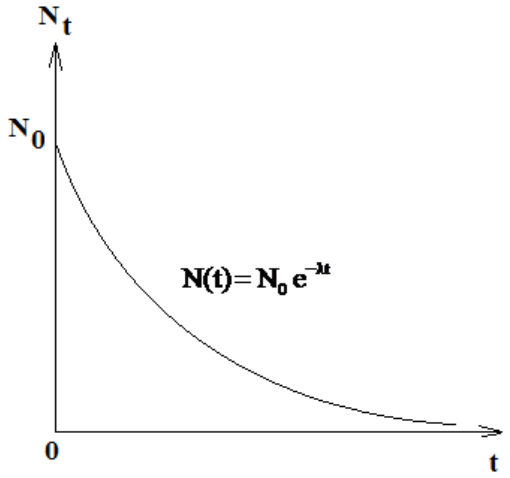
و dN تغيرعدد الأنوية في المجال الزمني dt

إن تغيرعدد الأنوية dN يتناسب مع عدد الأنوية N_t و مع زمن التفكك dt

و نكتب :

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t=0}^{t} dt \quad => \qquad \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = -\lambda t \quad => \quad N(t) = N_0\, e^{-\lambda t}$$

λ: ثابت النشاط الإشعاعي ووحدته الزمن$^{-1}$ (s^{-1}، min^{-1}، h^{-1} ، .....).



الشكل 6 : تغير N_t بدلالة الزمن.

1.4. الدور الإشعاعي T (أو زمن نصف العمر $t_{1/2}$)

زمن نصف العمر T للعنصر المشع هو الزمن اللازم لتفكك نصف عدد الأنوية الابتدائية المشعة.

أي :

$$t = t_{1/2} = T$$

$$N(t_{1/2}) = N_0/2$$

$$N(T) = \frac{N_0}{2} = N_0\, e^{-\lambda T}$$

ليصبح لدينا :

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

2.4. النشاطية الإشعاعية

النشاطية **A** (Activité) لعينة مشعة يساوي متوسط عدد التفككات في الثانية و يعبرعنها بوحدة البيكريل (Bq) حيث (1dps = 1Bq). الكوري (Ci) هي وحدة أخرى مستخدمة لقياس النشاطية، وهي تتوافق مع نشاط 1 g من الراديوم حيث: $1Ci = 3.7 \times 10^{10}$ Bq

تتغير النشاطية بدلالة الزمن حسب المعادلة :

$A > 0 \ldots\ldots\ldots A = A_0 e^{-\lambda t}$ لدينا $A_0 = \lambda . N_0$ و... $A = \lambda . N$ إذن : $\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$

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

لدينا..... $n = m/M$ ..... $N = n . N_A$...

حيث:

m: كتلة العينة n: عدد المولات N_A: عدد أفوقادرو

$n N_A = n_0 N_A e^{-\lambda t}$ $m/M . N_A = m_0/M N_A e^{-\lambda t}$

$$m = m_0 . e^{-\lambda t}$$

3.4. تطبيقات قانون الانحلال الإشعاعي

هناك العديد من التطبيقات العملية للنشاط **الإشعاعي** .فتستخدم المصادر المشعة لدراسة الكائنات الحية، ولتشخيص وعلاج الأمراض، ولتعقيم الأدوات الطبية والمواد الغذائية، ولإنتاج الطاقة الحرارية والطاقة الكهربائية، ولرصد الخطوات المختلفة في جميع أنواع العمليات الصناعية.

كما يتيح لنا التأريخ بالكربون 14 (^{14}C) (نظير مُشع من نظائر الكربون ^{12}C) تحديد عمر القطع الأثرية. كل كائن حي يحتوي على ^{12}C و ^{14}C فبمجرد أن يموت الكائن تبدأ ذرات الكربون ^{14}C بالتفكك تلقائيا. ففي كل خمسة آلاف وسبعمئة وثلاثين سنة ,زمن نصف العمر, تتفكك نصف ذرات الكربون ^{14}C وتعود إلى ذرات النيتروجين التي تكوَّنت منها ابتداءاً.

$$^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}p$$

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$$

في المقابل و على النظير من ذلك، تبقى كمية الكربون (^{12}C) ثابتة في جسم الكائن حتى بعد موته وبالتالي صار لدينا طريقةٌ فعالةٌ لتحديد عمر الكائنات الحية، من خلال مقارنة كمية (الكربون ^{14}C) المتفككة مع الزمن بكمية (الكربون ^{12}C) التي لا تتأثر بعامل الزمن و تبقى ثابتة، وبالتالي يمكننا معرفة كم من السنوات قد انقضت على موت أي كائن حي.

5. أنواع التفاعلات النووية الاصطناعية

هناك ثلاثة أنواع مختلفة من التفاعلات النووية: **الانشطار والاندماج والتحوُّل**. يحدث الانشطار عندما تنقسم النواة الثقيلة إلى نواتين صغيرتين أو أكثر. يَنتج عن الانشطار الكثير من الطاقة المستخدَمة لتوليد الكهرباء داخل مصانع الطاقة النووية. يحدث الاندماج عندما تتحد نواتان خفيفتان أو أكثر لتكوين نواة أثقل. أما التحوُّل الناتج عن التفكك الإشعاعي هو العملية التلقائية التي تتحوَّل فيها النظائر غير المستقرة إلى نظائر أكثر استقرارًا.

1.5. التحولات النووية

هو أحد أنواع التفاعلات النووية؛ حيث تتحوَّل نواة ذرات عنصر ما إلى نواة ذرات عنصر آخر. هناك نوعان فرعيان من تفاعلات التحوُّل: الانحلال الإشعاعي والقصف. التحوُّل عن طريق **الانحلال الإشعاعي** عملية تحدث في الطبيعة للنظائر غير المستقرة. سيؤدي النظير غير المستقر أو المشع إلى انبعاث جسيمات أو طاقة تلقائيًّا، تُسمَّى إشعاعًا؛ الأمر الذي يتسبَّب في تحويل هذا النظير إلى نظير أكثر استقرارًا.

أما **القصف** فهو عملية غير تلقائية؛ حيث تُقصَف نواة بجسيمات أصغر لتكوين نواة مختلفة أكبر.

في عام 1925، قام العالم باتريك بلاكت بقصف ذرات النيتروجين-14 بجسيمات ألفا، وهو ما أدى إلى تحوَّلها إلى ذرات الأكسجين-17 لتنبعث من هذه العملية أيضًا بروتونات:

$$^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{p}$$

العناصر التي لها عدد ذري أكبر من 92 تكوَّنت من خلال عملية القصف وجميعها مشعة ومعظمها غير موجود في الطبيعة.

2.5. الانشطار النووي

هو إنقسام نواة ذرية ثقيلة إلى نواتين ذريتين أو أكثر أخف وزنًا بعد قذفها بنيوترون. ويرافقه انبعاث نيوترونات وتحرير طاقة كبيرة.

يمكن للنيوترونات الناتجة أن تؤدي إلى انشطار نوى أُخرى مسببة حدوث تفاعل متسلسل يمكن التحكم فيه عن طريق مثبطات النيوترونات كما هو الحال في المفاعلات النووية. عدم التحكم في التفاعل المتسلسل سوف يؤدي ذلك إلى إنفجار نووي أو ما يعرف اصطلاحا بالقنبلة الذرية (القنبلة A) كما هو مبين في المعادلة التالية :

$$^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{139}_{54}\mathrm{Xe} + {}^{95}_{38}\mathrm{Sr} + 2\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

3.5. الاندماج النووي

الاندماج النووي عملية تتجمع فيها نواتان ذريتان لتكوين نواة واحدة أثقل. و هو أحد أهم أنواع التفاعلات النووية، حيث أن الطاقة الناتجة من الاندماج النووي تفوق الطاقة التي يتم إنتاجها في محطات المفاعلات النووية التي تعمل بالإشطار النووي.

تنتج تلك الطاقة الهائلة عن فقد صغير في وزن النواة الناتجة عن الاندماج النووي، وهذا الفقد في الكتلة يتحول إلى طاقة. تطلق تفاعلات الاندماج كميات من الطاقة أكبر ب 3 إلى 4 أضعاف من الطاقة التي توفرها تفاعلات الانشطار. أبسط مثال عن تفاعل اندماج هو التفاعل الذي يؤدي إلى إنتاج القنبلة الهيدروجينية. كما هو موضح في المعادلة التالية :

$$^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} + \mathrm{Energie}$$

الطاقة المنبعثة من هذا التفاعل هي $E = 17{,}6\ \mathrm{MeV}$

6. تطبيقات النشاط الإشعاعي

إن استخدام المواد المشعة (النظائر المشعة) في المجال الطبي يعتبر من أحدث التطورات في الطب الحديث فالطب النووي هو المجال الطبي الذي تستخدم فيه النظائر المشعة لتشخيص وعلاج عديد الأمراض ، وقد سمي بالنووي نسبةً إلى نواة الذرة وهي مصدر الإشعاع المنبعث من هذه النظائر المشعة.

كما يُستخدم النشاط الإشعاعي في الزراعة لقتل الحشرات وإنتاج الطفرات المفيدة للمحاصيل. كما أن للنشاط الإشعاعي استخدامات صناعية عديدة (اكتشاف العيوب في المنتجات وخلق درجات حرارة عالية. يمكننا استخدام الإشعاع النووي في تحديد مواقع النفط والغاز تحت الأرض).

7. خطر النشاط الإشعاعي:

يمكن للنشاط الإشعاعي أن يسبب السرطان (كسرطان الدم الحاد وسرطان الغدة الدرقية) كما يسبب الأورام وأمراض العيون و حتى الاضطرابات العقلية نتيجة الأضرار التي تلحق بالمواد الوراثية (DNA،RNA). وإذا تعرض الجسم لجرعة كبيرة من النشاط الإشعاعي خلال فترة زمنية قصيرة جداً، فقد يؤدي ذلك إلى الوفاة في غضون ساعات أو أيام قليلة.

Dr. BOUANIMBA NOUR