الفصل الثالث : النشاط الإشعاعي و التفاعلات النووية

I. النقص في الكتلة - طاقة التماسك :

*إن الكتلة m لنواة ما تكون قيمتها دوما أقل من مجموع كتل مكوناتها و الفارق بينهما هو النقص في الكتلة

$$\Delta m = |\underbrace{Z\, m_p + (A-Z)\, m_n}_{\text{الكتلة النظرية للنواة (المحسوبة)}} - \underbrace{m_x}_{\text{الكتلة التجريبية للنواة}}|$$

z هو عدد البروتونات و m_p هي كتلة البروتون
n هو عدد النيترونات و m_n هي كتلة النيترون

* إن تشكيل النواة إنطلاقا من نيوكليوناتها مصحوب بإمتصاص طاقة ، هذه الطاقة معطاة من طرف مكونات النواة على شكل كسرضئيل في الكتلة Δm ، وتفكيك هذه النواة ينشر نفس الطاقة.

مثال :

$$2\,{}^1_1p + 2\,{}^1_0n \rightleftharpoons^{Energie\ absorbée}_{Energie\ libérée} {}^4_2He \quad , \qquad \Delta m = (2\,m_p + 2\,m_n) - m_{He}$$

$$|\,E_{abs}\,| = |\,E_{lib}\,|$$

* Δm تتحول إلى طاقة إرتباط النواة حسب مبدأ تكافؤ كتلة - طاقة لأنشتاين (Einstein) : $\Delta E = \Delta m\, C^2$
ΔE : الطاقة اللازم بذلها لتفكيك النواة إلى نيوكليوناتها وهي أيضا طاقة ربط النيوكليونات داخل النواة أو طاقة تماسك النواة.
C : سرعة الضوء في الخلاء حيث : $C = 2{,}99793.10^8$ m/s $\approx 3.10^8\ m/s$
$\Delta m = m_f - m_i$

*كل ظهور للطاقة مصحوب بنقص في الكتلة.
من أجل نواة واحدة $\Delta E_N = \Delta m\, C^2$

* نعرف أيضا a طاقة التماسك في النيوكليون الواحد : $a = \Delta E/A \quad (MeV/Nucléon)$
A : عدد النكليونات
هذه الطاقة تعبّرعن مدى استقرارالنوى (كلما كانت a أكبر ، كلما كانت النواة أكثراستقرارا) .

* و طاقة مول من النوى : $\Delta E_{mol} = \Delta E_N . \mathcal{N}_A$

1. وحدات الطاقة :

الإلكترون فولط (eV) : تمثل طاقة الإلكترون الذي يخضع لفرق في الجهد قدره 1 فولط

$W = |q|.V = 1{,}6 \times 10^{-19}\ C \times 1V = 1{,}6 \times 10^{-19}\ J \quad (joule)$
$1\ MeV = 10^6\ eV \quad (Méga\ électronvolt)$
$1\ M_{ev} = 1{,}6 \times 10^{-13}\ J$
$1\ erg = 10^{-7}\ J$
$1\ cal = 4{,}18\ J \quad (calorie)$
$1\ Kcal = 10^3\ cal$

2. الطاقة المكافئة لوحدة الكتل الذرية (1 Uma) :

$1\ \text{Uma} = 1{,}66 \times 10^{-27}\ \text{kg}$
$E = m\,C^2 = 1{,}66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2$
$E = 1{,}49 \times 10^{-10}\ \text{J}$

$1\text{eV} \rightarrow 1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{J}$
$\rightarrow 1{,}49 \times 10^{-10}\ \text{J}$
$\Rightarrow\ E = 9{,}31 \times 10^8\ \text{eV} = 931\ \text{MeV}$

$$\mathbf{1\ Uma = 931\ MeV}$$

من أجل نواة واحدة :

$$\Rightarrow\ \Delta E\ (MeV) = \Delta m\ (uma) \times 931\ MeV/uma$$
$$\Rightarrow\ \Delta E\ (J) = \Delta m\ (kg) \times C^2\ (m/s)$$

مثال :
تتكون نواة الليثيوم من 3P و 4n فإذا كانت : $m_{Li} = 7{,}01601$ uma ، $m_n = 1{,}00866$ uma , $m_p = 1{,}00727$ uma
أحسب طاقة تماسك النيوكليونات بـ J و MeV

الحل :

$$3\,{}_1^1P + 4\,{}_0^1n \rightarrow {}_3^7Li + \Delta E_N$$
$$\Delta m = Z\,m_p + (A - Z)\,m_n - m_{Li}$$
$$\Delta m = 3 \times (1{,}00727) + 4 \times (1{,}00866) - 7{,}01601$$
$$\Delta m = 0{,}04044\ Uma$$
$$\Delta E_N = \Delta m\,C^2 = 0{,}04044 \times 1{,}66 \times 10^{-27} \times (3.10^8)^2$$
$$\Delta E_N = 6{,}04 \times 10^{-12}\ J$$
$$\Delta E_N = 0{,}04044 \times 931$$
$$\Delta E_N = 37.65\ MeV$$
$$\Delta E_{mol} = \Delta E_N . \mathcal{N}_A = 37.65 \times 6{,}023.10^{23} = 2{,}27 \times 10^{25}\ MeV$$ و طاقة مول من النوى :

ملاحظة :
$Z \in [1, 20]$ تكون الأنوية في هذه الحالة مستقرة غير مشعة.
$Z \in\ ]20, 84[$ منها المشع ومنها غير المشع.
$Z \geq 84$ كلها غير مستقرة فهي مشعة طبيعيا.

II. النشاط الإشعاعي الطبيعي : هناك في الطبيعة أنوية مستقرة و أنوية غير مستقرة تتفكك تلقائيا، نقول بأنها مشعة.
تبث أخف الأنوية غير المستقرة إلكترونات تعرف بالدقائق β^- كما يمكن للأنوية الأثقل أن تبث أنوية هليوم و التي تعرف بالإشعاع ${}_2^4\alpha$. يرافق بث α و β غالبا بث فوتونات شديدة الفعالية تشكل الإشعاع γ .

1. مميزات الإشعاعات المختلفة :

1.1. الإشعاع α : هي دقائق تنتج عن الأنوية الثقيلة المشعة طبيعيا ($z > 83$) تمتاز بطاقة كبيرة و قوة إختراق ضعيفة وهي تمثل أنوية هليوم أي ${}_2^4\alpha$. تؤدي إلى إستحالة النواة المصدر فينقص العدد الشحني للنواة المشعة بمقدار وحدتين بينما العدد الكتلي A ينقص بأربع وحدات (4).

$${}_z^AN_1 \rightarrow {}_{z-2}^{A-4}N_2 + {}_2^4\alpha + E\ ({}_0^0\gamma)$$

2.1. الإشعاع β : هي جسيمات نووية تصدرها أخف الأنوية الثقيلة. أقل تأينا وأكثر نفاذا من الإشعاع α منها النيقاتون Négaton β^- و البوزيتون Positon β^+ .

النيقاتون β^- : يتشكل أثناء تحول نترون في النواة إلى بروتون و تحرير إلكترون سالب شحنته هي 1- و كتلته 0

$$ {}^{1}_{0}n \quad \rightarrow \quad {}^{1}_{1}P + {}^{0}_{-1}e + E\ (\gamma^{0}_{0}) $$

يزداد العدد الشحني للنواة المشعة بمقدار وحدة بينما عددها الكتلي يبقى ثابتا.

$$ {}^{A}_{z}N_1 \quad \rightarrow \quad {}^{A}_{z+1}N_2 + {}^{0}_{-1}\beta + E\ (\gamma^{0}_{0}) $$

البوزيتون β^+: يتشكل أثناء تحول بروتون في النواة المشعة إلى نترون وتحرير إلكترون موجب شحنته هي 1+ وكتلته 0.

$$ {}^{1}_{1}P \quad \rightarrow \quad {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{+1}e + E $$

ينقص العدد الشحني للنواة المشعة بمقدار وحدة بينما عددها الكتلي يبقى ثابتا.

β^+ ناتج عن تفاعلات إصطناعية فقط (الإصدار التلقائي لـ β^+ غير ممكن طبيعيا).

$$ {}^{A}_{z}N_1 \quad \rightarrow \quad {}^{A}_{z-1}N_2 + {}^{0}_{+1}\beta + E\ (\gamma^{0}_{0}) $$

3.1. الإشعاع γ : ينتج عن النواة المشعة أثناء مرورها من الحالة المثارة إلى الحالة الأقل إثارة وهي إشعاعات كهرومغناطيسية ذات طول موجي قصير أقل من $1A^0$ طبيعته من طبيعة الضوء أو الأشعة السينية RX ، يصاحب دوما الإشعاعين α و β .

لا يغير الإشعاع γ العدد الشحني Z ولا العدد الكتلي A للنواة المشعة (γ^{0}_{0}) ، يكون الإشعاع γ أقل تأينا و أكثر نفاذا من الإشعاع β^- .

2. قوانين النشاط الإشعاعي :

1.2. قانون التهافت الإشعاعي : يتغير عدد الأنوية المشعة مع الزمن وفقا لقانون معين يعرف بقانون التهافت الإشعاعي.

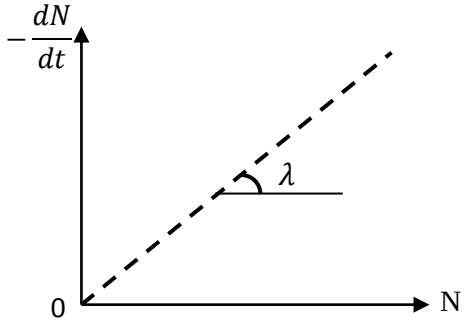
	نواة مشعة X^*		**نواة مستقرة** X
$t = 0$	N_0	$\rightarrow$	0
t	N	$\rightarrow$	$N_0 - N$
$t + dt$	$N - dN$	$\rightarrow$	$N_0 - N + dN$

N_0 : عدد الأنوية الإبتدائية المشعة.

يكون لدينا عند اللحظة t : N أنوية غير مستقرة باقية

وقد شكلنا : $N_0 - N$ أنوية مستقرة

عند اللحظة $t + dt$ تتناقص N بكمية dN : وهو عدد الأنوية غير المستقرة التي تهافتت (أو عدد النوى المستقرة التي تشكلت) خلال اللحظة dt . وعند رسم العلاقة بين عدد الأنوية N و سرعة التهافت $v = -\frac{dN}{dt}$ (تدل الإشارة على النقص) ، كانت العلاقة خطية :



حيث أن $-\frac{dN}{dt}$ تتناسب طرديا مع عدد الأنوية ومنه : $-\frac{dN}{dt} = \lambda N$

حيث λ : ثابت التناسب

ومنه :

$$\frac{dN}{N} = -\lambda\, dt$$

بأخذ تكامل الطرفين :

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$$

$$[\ln N]_{N_0}^{N} = -\lambda\,[t]_0^t$$

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

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda\, t \quad \Rightarrow \quad \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{N = N_0 . e^{-\lambda t}}$$

وهو قانون التهافت الإشعاعي وينطبق على كل أنواع النشاط الإشعاعي (الأنوية المشعة طبيعيا وصناعيا) ويبين هذا القانون أن عدد الأنوية يتناقصا أسيا مع الزمن حيث : λ هو ثابت التهافت الإشعاعي أو ثابت النشاط الإشعاعي ويقاس بـ $Hz = S^{-1}$

ملاحظة : لكل نواة مشعة ثابت إشعاعي خاص

ولما كانت كتلة المادة المشعة متناسبة مع عدد ذراتها (N) وبالتالي يمكن كتابة القانون السابق وفق الشكل التالي :

الكتلة : $\boldsymbol{m = m_0\, e^{-\lambda t}}$

عدد المولات : $\boldsymbol{n = n_0\, e^{-\lambda t}}$

2.2. الفعالية الإشعاعية (النشاطية الإشعاعية) : نعبر عن الفعالية الإشعاعية بـ A و هي عدد التهافتات في وحدة الزمن .

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda\, N$$

يمكن التعبير عن قانون التهافت الإشعاعي بدلالة الفعالية :

$$\boldsymbol{t = 0}: \; N = N_0 \Rightarrow A_0 = \lambda\, N_0$$

$$\boldsymbol{t}: \quad A = \lambda\, N \;\; , \;\; N = N_0 . e^{-\lambda t} \Rightarrow A = \underbrace{\lambda\, N_0}. e^{-\lambda t}$$

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

A : الفعالية النهائية ، A_0 : االفعالية الإبتدائية.

* تقاس الفعالية بما يلي :

dps : Désintégration par seconde تهافت في الثانية

الكوري Le curie $Ci = 3{,}7 \times 10^{10}\ dps$

البيكرل Le becquerel $1Bq = 1\ dps$

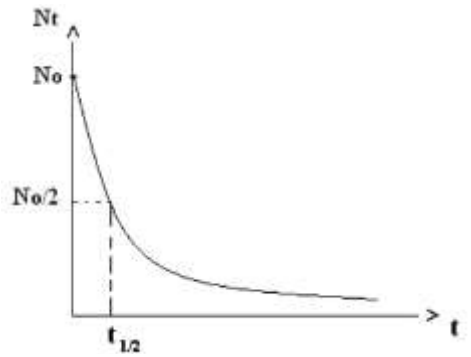
$1\ mC_i = 10^{-3}\ Ci = 3{,}7 \times 10^{7}\ dps$

$1\ \mu C_i = 10^{-6}\ Ci = 3{,}7 \times 10^{4}\ dps$

وهناك وحدة أخرى تدعى الرذرفورد 1 Rd = 10^6 dps

$$A_0 = \lambda\, N_0 = \lambda . n . \mathcal{N}_A \Rightarrow \boldsymbol{A = \lambda . \frac{m_0}{M} . \mathcal{N}_A}$$

3.2. الدور الإشعاعي T (دور نصف عمر العنصر المشع) : هو الزمن اللازم لتفكك (تهافت) نصف أنوية المادة المشعة الموجودة في لحضة ما (t). (زمن نصف الحياة) $T = t_{1/2}$.



خلال $t_{1/2}$: $N = \frac{N_0}{2}$ نعوض في قانون التهافت الإشعاعي فنجد :

$$\frac{N_0}{2} = N_0 . e^{-\lambda t_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T} \Rightarrow \ln 2^{-1} = \ln e^{-\lambda T}$$

$$\Rightarrow -\ln 2 = -\lambda T$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{T = \frac{\ln 2}{\lambda}} \qquad \Rightarrow \qquad \boldsymbol{\lambda = \frac{\ln 2}{T}}$$

أي أن T يتناسب عكسيا مع λ و يقاس بالثانية (s).

III. الإشعاعية الإصطناعية : اكتشفت الإشعاعية الإصطناعية من قبل إيران و فريديريك جوليوكوري حيث بينا أنه من الممكن تحويل عنصر غير مشع إلى عنصر مشع. نحصل على هذه العناصر غير المستقرة المصطنعة بقذف نواة بدقائق وهي نوى خفيفة : (n, P, α.....) ذات طاقة حركية عالية.

$$^{14}_{7}N + \ ^{4}_{2}\alpha \quad \rightarrow \quad ^{17}_{8}O + \ ^{1}_{1}H \qquad (Rutherford)$$

و الكتابة المختصرة لهذا التفاعل هي : $^{14}_{7}N(\alpha, P)^{17}_{8}O$

$$^{27}_{13}Al + \ ^{4}_{2}\alpha \quad \rightarrow \quad ^{30}_{15}P^{*} + \ ^{1}_{0}n \qquad (Curie)$$

$$^{30}_{15}P^{*} \rightarrow \ ^{30}_{14}Si + \ ^{0}_{+1}\beta$$

بعض الأمثلة للكتابة المختصرة :

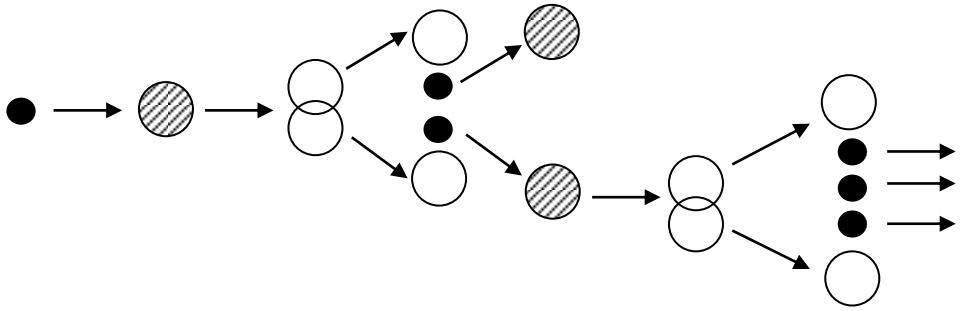
$$^{30}_{15}P(\beta^{+})^{30}_{14}Si \equiv \ ^{30}_{15}P \quad \rightarrow \quad ^{30}_{14}Si + \ ^{0}_{+1}\beta + E$$

$$^{15}_{8}O(\beta^{+}) \equiv \ ^{15}_{8}O + \ ^{0}_{+1}\beta \quad \rightarrow \quad ^{15}_{9}X + E$$

IV. التفاعلات النووية :

1. تفاعلات الإنشطار النووي : وهي تفاعلات تخص الأنوية الثقيلة (A > 200) حيث تقذف بالنترونات لتنشطر إلى أنوية أصغر منها حيث 72< A < 162 (فينتج عن ذلك نقصان في الكتلة. إن هذا النقصان في الكتلة وإن كان ضئيلا يرافقه انتشار كمية هائلة من الطاقة تدعى بالطاقة النووية).
بالإضافة إلى عدد من النترونات التي تتسبب بدورها في إنشطار أنوية أخرى لتنتج سلسلة من الإنشطارات.

$$^{235}_{92}U + \ ^{1}_{0}n \quad \rightarrow \quad ^{136}_{53}I + \ ^{94}_{39}Y + 6^{1}_{0}n + E$$



2. تفاعلات الإنصهار أو الإلتحام النووي : ينتج الإلتحام النووي من إجتماع نواتين خفيفتين لتشكيل نواة أثقل مع طرد جسم بروتوني أو نتروني أو جسيم أخر بالإضافة إلى طاقة الإلتحام النووية. تحتاج هذه التفاعلات إلى درجات حرارة عالية جدا من رتبة ملايين الدرجات مثل :

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

$^{2}_{1}H$: Deutérium

$^{3}_{1}H$: Tritium