

## ملخص الوحدة 02: التحولات النووية.

## 01 - النشاط الإشعاعي:

النواة	
الوصف	هي الجزء المركزي من الذرة الذي تتمركز فيه كتلة الذرة وتتكون معظم كتلتها من البروتونات موجبة الشحنة والنيوترونات المتعادلة الشحنة لتكون النواة.
الرمز	$A$ : العدد الكتلي (عدد بروتونات + نيوترونات). $Z$ : الرقم الذري (عدد بروتونات). $N$ : عدد النيوترونات. حيث: $A = Z + N$ .
النظائر	هي أنوية لذرات نفس العنصر الكيميائي تشترك في الرقم الذري $Z$ أي عدد البروتونات وتختلف في العدد الكتلي $A$ أي عدد النيوترونات $N$ .

النشاط الإشعاعي	
الوصف	ظاهرة سببها تحوّل نووي تلقائي لأنوية غير مستقرة لإعطاء أنوية أكثر استقرارا وانبعث اشعاع.
مميزاته	<p><b>تلقائي:</b> يحدث دون تدخل عامل خارجي.</p> <p><b>عشوائي:</b> لا يمكن التنبؤ بوقت حدوثه.</p> <p><b>حتمي:</b> النواة المشعة تتفكك عاجلا أم آجلا.</p> <p><b>مستقل:</b> مستقل عن الضغط ودرجة الحرارة، وأيضا عن التركيب الذي تنتمي اليه النواة.</p>
قياسه	يتم قياس قيمة النشاط الإشعاعي لعينة مشعة ما بواسطة جهاز يُدعى عداد جيجر.

أنواع النشاط الإشعاعي				
الاشعاع	طبيعته	مصدره	الأنوية التي تصدر هذا الاشعاع	معادلة التفكك
$\alpha$	${}^4_2\text{He}$ (نواة الهيليوم)	اجتماع بروتونين ونيوترونين $2{}_0^1n + 2{}_1^1p \rightarrow {}^4_2\text{He}(\alpha)$	الأنوية الثقيلة جدًا $A > 200$	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}^4_2\text{He}(\alpha)$
$\beta^+$	${}_1^0e$ (بوزيترون)	تحول بروتون الى نيوترون: ${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + {}_1^0e(\beta^+)$	التي لها فائض في البروتونات مقارنة مع نواة أخرى موجودة في واد الاستقرار ولهما نفس العدد الكتلي $A$ .	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^{A-0}Y + {}_1^0e(\beta^+)$ مثال: ${}_{58}^{139}\text{Ce} \rightarrow {}_{57}^{139}\text{La} + {}_1^0e(\beta^+)$
$\beta^-$	${}_1^0e$ (الكترن)	تحول نيوترون الى بروتون: ${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + {}_1^0e(\beta^-)$	التي لها فائض في النيوترونات مقارنة مع نواة أخرى موجودة في واد الاستقرار ولهما نفس العدد الكتلي $A$ .	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^{A-0}Y + {}_1^0e(\beta^-)$ مثال: ${}_{58}^{133}\text{Ce} \rightarrow {}_{59}^{133}\text{Pr} + {}_1^0e(\beta^-)$
$\gamma$	${}_0^0\gamma$ (اشعاع كهرومغناطيسي)	يتبع الاشعاع $(\beta, \alpha)$ ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^{A-0}Y + (\beta^+) + \gamma$ ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^{A-0}Y + (\beta^-) + \gamma$	النواة التي تصدر الاشعاعات $(\beta, \alpha)$ تكون مثارة طاويا فتشع $\gamma$ فتصبح غير مثارة.	${}_Z^AY^* \rightarrow {}_Z^AY + \gamma$

مميزات الجسيمات التي سنصادفها في هذه الوحدة				
الجسيم	البروتون ${}_1^1p$	النيوترون ${}_0^1n$	الكترن ${}_1^0e$	البوزيترون ${}_1^0e$
الكتلة (Kg)	$1,673 \cdot 10^{-27}$	$1,675 \cdot 10^{-27}$	$9,1 \cdot 10^{-31}$	$9,1 \cdot 10^{-31}$
الشحنة (C)	$1,602 \cdot 10^{-19}$	0	$-1,602 \cdot 10^{-19}$	$1,602 \cdot 10^{-19}$

الطاقة النووية	
وحدة الكتل الذرية $u$	تعرف وحدة الكتل الذرية على أنها $\frac{1}{12}$ من كتلة الكربون 12 والتي نعتبرها $m_C$ ويكون: $1u = \frac{1}{12} \cdot m_C = \frac{1}{12} \cdot \frac{M_C}{N_A} = \frac{1}{12} \cdot \frac{12}{6,023 \cdot 10^{23}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{Kg}$
وحدة الطاقة (Jeul)	$1 \text{Mev} = 10^6 \text{ev}$ $1 \text{Mev} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{Jeul}$ $1 \text{ev} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{Jeul}$
تكافؤ كتلة - طاقة	$1u \Leftrightarrow 931,5 \text{Mev}/C^2$

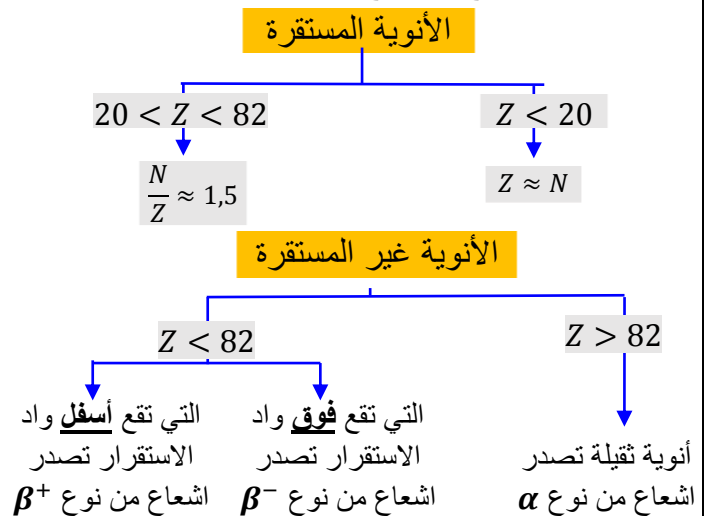
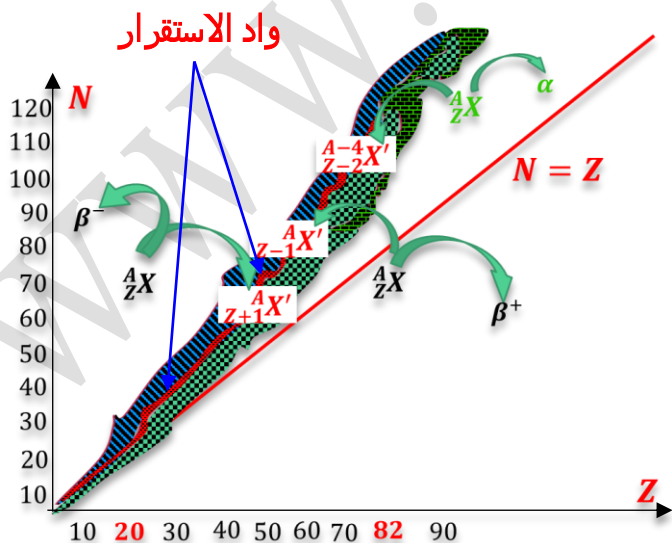
القوانين			
ملاحظات	العبارة الحرفية		
$R$ : نصف قطر النواة، وحدته المتر ( $m$ ). $A$ : العدد الكتلي، (عدد النويات). $r_0$ : ثابت بالنسبة لكل الأنوية وحدته ( $m$ ). $(r_0 = 1,3 \cdot 10^{-15} m)$ $V_{noyau}$ : حجم النواة، وحدته ( $m^3$ ). $\lambda$ : ثابت النشاط الإشعاعي وهو احتمال تفكك نواة مشعة واحدة خلال ثانية واحدة، وحدته ( $s^{-1}$ ). $\tau$ : ثابت الزمن وهو متوسط عمر نواة مشعة، وحدته ( $s$ ). $t_{1/2}$ : زمن نصف العمر وهو الزمن اللازم لتفكك نصف عدد الأنوية المشعة الابتدائية ( $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$ ) وحدته ( $s$ ). $N(t)$ : عدد الأنوية المشعة المتبقية في لحظة $t$ . $N_0$ : عدد الأنوية المشعة الابتدائية في اللحظة $t = 0$ . $t$ : الزمن، وحدته الثانية ( $s$ ). $A(t)$ : النشاط الإشعاعي في لحظة $t$ . $A_0$ : النشاط الإشعاعي في اللحظة $t = 0$ .	$R = r_0 \sqrt[3]{A}$	نصف القطر	النواة
	$V_{noyau} = \frac{4}{3} \pi R^3 = A \frac{4}{3} r_0^3$	الحجم $V_{noyau}$	
	$\lambda = \frac{1}{\tau}$	ثابت النشاط الإشعاعي $\lambda$	النشاط الإشعاعي
	$\tau = \frac{1}{\lambda}$	ثابت الزمن $\tau$	
	$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \cdot \ln 2$	زمن نصف العمر أو الدور $t_{1/2}$	
	$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$	التناقص الإشعاعي $N(t)$	
	$A(t) = -\frac{\Delta N(t)}{\Delta t} = \lambda \cdot N(t)$ $= \lambda \cdot N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$	النشاط الإشعاعي $A(t)$	
	$t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln \frac{N_0}{N(t)}$ $= \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln \frac{A_0}{A(t)}$	التأريخ	

### التأريخ بالكربون 14

نُورخ لجميع الأجسام النباتية أو الحيوانية على سطح الأرض بواسطة الكربون 14 المشع ( $^{14}_6C$ ) وهذا الأخير ينتج بصفة مستمرة في الغلاف الجوي من خلال قذف أزوت الغلاف الجوي بالنيترونات الكونية:  $^{14}_7N + ^1_0n \rightarrow ^{14}_6C + ^1_1P$ . الكربون الناتج مشع لدقائق  $\beta^-$  نصف عمره يقدر بـ 5700ans نسبته في الغلاف الجوي وفي الكائنات الحية تبقى ثابتة. بعد الموت لا يمكن تجدد في الجسم وبما أنه مشع فهذا يؤدي إلى نقصانه مع مرور الزمن مما يسمح لنا بتأريخ لحظة الوفاة.

### مخطط سيفري (Segrè)

تعريف: يمكن من خلاله معرفة الأنوية المستقرة والأنوية غير المستقرة ونوع الإشعاع الصادر ( $\beta, \alpha$ ).

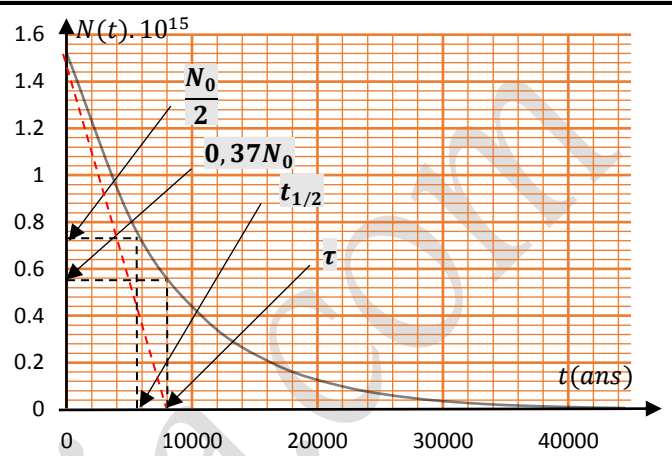
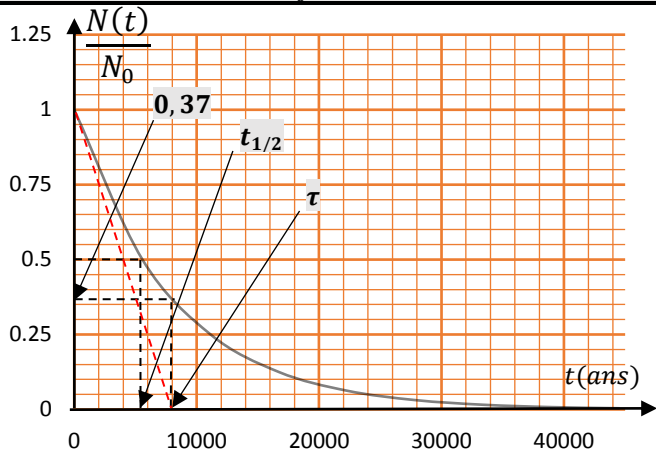


## المنحنيات المحتملة في النشاط الإشعاعي

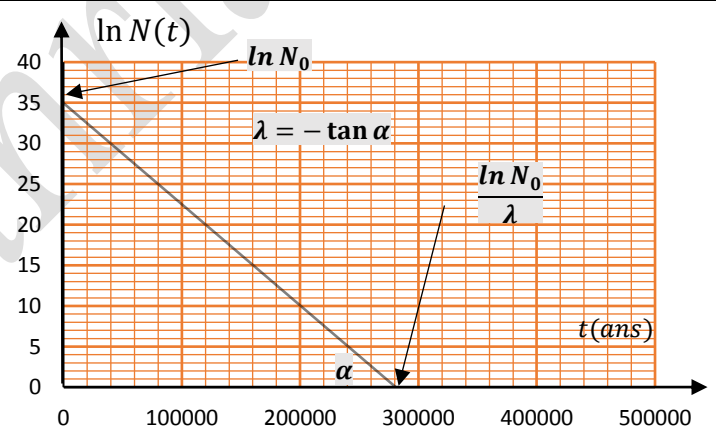
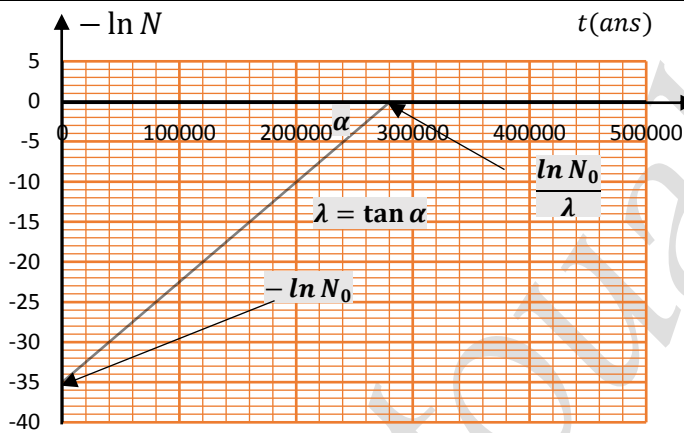
لنكن العينة المشعة من الكربون 14 المشع ( $^{14}_6C$ ) التي تحمل الخصائص التالية:

نواة مشعة  $N_0 = 1,52 \cdot 10^{15}$  ،  $t_{1/2} = 5570 \text{ ans}$  ،  $\lambda = 1,244 \cdot 10^{-4} \text{ ans}^{-1}$  ،  $\tau = 8,035 \cdot 10^3 \text{ ans}$

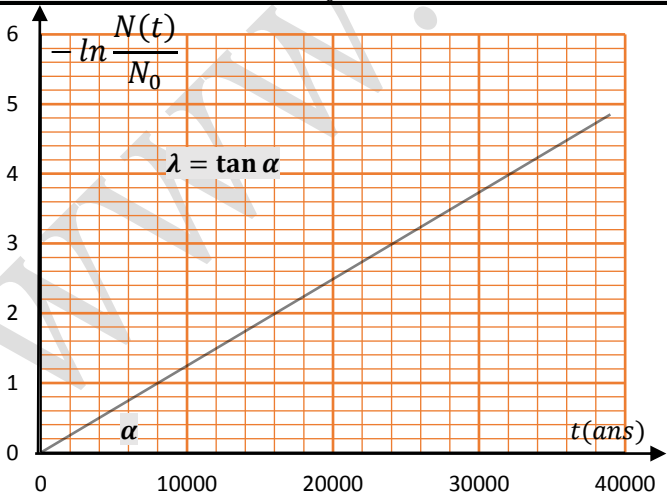
**البيان 01:** بيان الدالة:  $f(t) = N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$



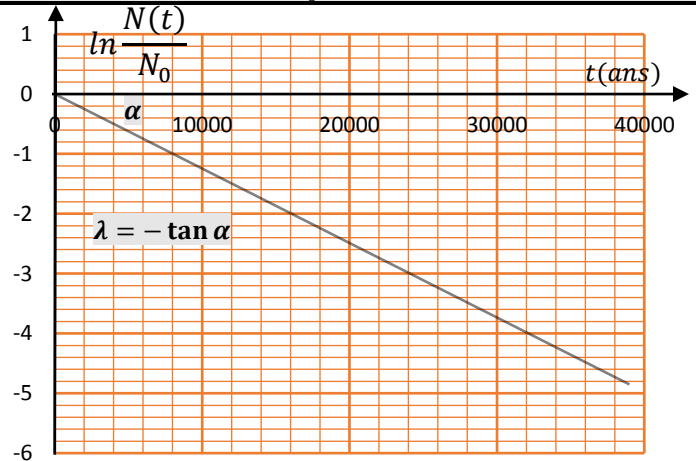
**البيان 03:** بيان الدالة:  $f(t) = \ln N(t) = -\lambda t + \ln N_0$



**البيان 06:** بيان الدالة:  $f(t) = -\ln \frac{N(t)}{N_0} = \lambda t$

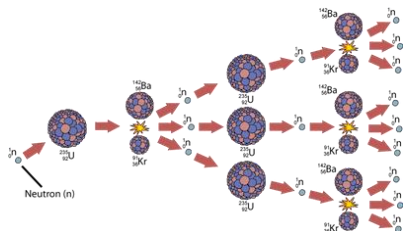


**البيان 05:** بيان الدالة:  $f(t) = \ln \frac{N(t)}{N_0} = -\lambda t$

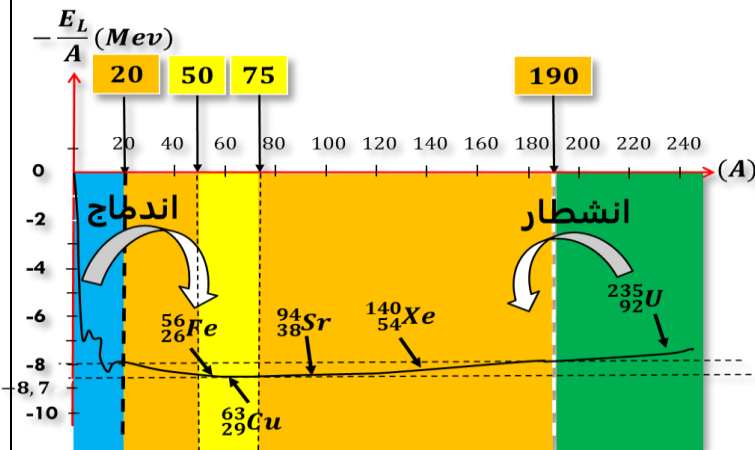


## 02 - التحولات النووية:

التحول النووي		
تعريف	هو تحول يتم على مستوى الأنوية، بحيث تحفظ الأنوية الأعداد الكتلي للعناصر وأرقامها الذرية.	
معادلة التحول	${}_{Z_1}^{A_1}X_1 + {}_{Z_2}^{A_2}X_2 = {}_{Z_3}^{A_3}X_3 + {}_{Z_4}^{A_4}X_4$	
قانون سودي (Soddy)	انحفاظ عدد النويات $A$	$A_1 + A_2 = A_3 + A_4$
	انحفاظ العدد الشحني $Z$	$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$
الانشطار النووي	هو تحول نووي مفتعل تنشطر فيه نواة ثقيلة تحت تأثير صدمة نترون بطيء لتشكيل نواتين أخف مع انبعاث نيوترونات وتحرر طاقة كبيرة. مثال: ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1n \rightarrow {}_{38}^{94}\text{Sr} + {}_{54}^{139}\text{Xe} + 3{}_0^1n + \gamma$	
الاندماج النووي	هو تحول نووي مفتعل يتم خلاله اندماج نواتين خفيفتين لتشكيل نواة أثقل منهما، وتحرر طاقة كبيرة. مثال: ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1n$	

القوانين			
ملاحظات	العبارة الحرفية		
<p><math>E</math>: طاقة الكتلة، وحدتها الجول (J).</p> <p><math>m</math>: الكتلة، وحدتها الكيلوغرام (Kg).</p> <p><math>C</math>: سرعة الضوء، وحدته (m.s<sup>-1</sup>).</p> <p><math>\Delta m</math>: هو الفرق بين كتلة نواة مشعة وكتلة نوياتها وهو دائما موجب وحدته (Kg).</p> <p><math>Z</math>: الرقم الذري.</p> <p><math>m_p</math>: كتلة البروتون، وحدتها (Kg).</p> <p><math>m_n</math>: كتلة النيوترون، وحدتها (Kg).</p> <p><math>m_X</math>: كتلة النواة، وحدتها (Kg).</p> <p><math>E_L</math>: هي الطاقة المقدمة للنواة في حالة راحة من أجل فصل نوياتها، وحدتها الجول (J).</p> <p><math>\xi</math>: الطاقة المحررة عندما تتشكل النواة من نوياتها المتفرقة والساكنة، وحدتها الجول (J).</p> <p><math>E_{lib}</math>: الطاقة المحررة في تحول نووي وحدتها (J).</p> <p><math>m_i</math>: مجموع كتل المتفاعلات، وحدتها (Kg).</p> <p><math>m_f</math>: مجموع كتل النواتج، وحدتها (Kg).</p>	$E = m \cdot C^2$		طاقة - كتلة
	$\Delta m = Z \times m_p + (A - z)m_n - m_X$		النقص الكتلي $\Delta m$
	$E_L = \Delta m C^2$	$m$ بالكيلوغرام (Kg)	طاقة الربط
	$E_L = \Delta m(931, 5)$	$m$ بوحدة الكتل الذرية (u)	النوية $E_l$
	$\xi = \frac{E_l}{A}$		طاقة الربط لكل نوية $\xi$
	$E_{lib} = (m_i - m_f) \cdot C^2$ , $E_{lib} = E_{Lf} - E_{Li}$		الطاقة المحررة من تفاعل نووي $E_{lib}$
	$m_i$ : مجموع كتل المتفاعلات، وحدتها (Kg).		
	$m_f$ : مجموع كتل النواتج، وحدتها (Kg).		
	$E_{Li}$ : مجموع طاقات تماسك المتفاعلات، وحدتها (J).		الاستطاعة $P$
	$E_{Lf}$ : مجموع طاقات تماسك النواتج، وحدتها (J).		
$(E_{Lf} - E_{Li})$ لا تصلح إذا كان تحول يصدر جسيم $\beta$			
$P = \frac{E_T}{\Delta t}$			
<p><math>P</math> نسمي سرعة تحويل الطاقة باستطاعة التحويل لهذه الطاقة، وحدتها الواط (W).</p>			
<p>النيوترونات الناتجة من تفاعل الانشطار تحدث تفاعلات انشطار أخرى فيكون التفاعل تسلسلي وتتضاعف الآلية وتكون التغذية ذاتية.</p> <p>مثل تفاعل انشطار اليورانيوم <math>^{235}_{92}U</math> وفق المعادلة التالية:</p>		التفاعل التسلسلي	
		$^{235}_{92}U + ^1_0n \rightarrow ^{91}_{36}Kr + ^{142}_{56}Ba + 3^1_0n + \gamma$	

## منحنى أستون (Aston)



**تعريف:** يمثل سالب طاقة الربط لكل نوية، أي المقدار  $-\left(\frac{E_L}{A}\right)$  بدلالة  $A$  عدد النويات (العدد الكتلي).

نقسم المنحنى إلى ثلاث مناطق:

1. المنطقة الأولى ( $20 < A < 190$ ):

- تحتوي على أغلب الأنوية المستقرة وتكون فيها  $\frac{E_L}{A} > 8$ .
- تحتوي هذه المنطقة على منطقة أكثر استقرارا محصورة في المجال:  $50 < A < 75$  تكون فيها  $\frac{E_L}{A} \approx 8,7 \text{ MeV/nucleon}$ .

2. المنطقة الثانية ( $A < 20$ ):

تحتوي على أنوية خفيفة أقل استقرارا  $\frac{E_L}{A} < 8,7 \text{ MeV/nucleon}$ .

تحاول هذه الأنوية أن تكون أكثر استقرارا فتسعى **للاندماج** لتكوين نواة أثقل وأكثر استقرارا وبالتالي تنتقل إلى منطقة الاستقرار.

3. المنطقة الثالثة ( $A > 190$ ):

تحتوي على أنوية ثقيلة أقل استقرارا تكون فيها  $\frac{E_L}{A} < 8,7 \text{ MeV/nucleon}$ .

تحاول هذه الأنوية أن تكون أكثر استقرارا فتسعى **للانشطار** لتكوين أنوية أخف وأكثر استقرارا وبالتالي تنتقل إلى منطقة الاستقرار.

**ملاحظة:** النحاس  $^{63}_{29}\text{Cu}$  والحديد  $^{56}_{26}\text{Fe}$  يعتبران الأكثر استقرارا وهذا ما يفسر توفرهما في الطبيعة.

**لماذا استعمل العالم ويليام فرانسيس أستون في رسم منحناه**

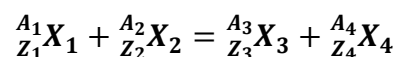
$\left(-\frac{E_L}{A}\right)$  ولم يستعمل  $\left(\frac{E_L}{A}\right)$ ؟

العالم *Farancis William Aston* انجليزي والعالم *Newton* كذلك انجليزي، حيث أن نيوتن يقول بأن الاجسام تكون أكثر استقرارا كلما اقتربت من مركز الأرض، أي عندما تكون طاقتها الكامنة الثقالية أصغر ما يمكن، أراد العالم أستون الحفاظ على نفس الفكرة، لكن باستقرار الأنوية، فجعل الأنوية الأكثر استقرارا في الأسفل، فلهذا استعمل  $\left(-\frac{E_L}{A}\right)$ .

إذا **القضية منهجية وليست علمية** (الطاقة المحررة في تفاعل نووي تحسب بكتلة المتفاعلات ناقص كتلة النواتج، لأن الكتلة تتحول إلى طاقة ..).

## الحصيلة الطاقوية لتحول نووي

- ليكن التفاعل النووي التالي:



يتم حساب الطاقة المحررة من هذا التفاعل بالاعتماد على:

**العلاقة الأولى:**  $\Delta E = [m_i - m_f] \cdot C^2$

$$\Delta E = [[m(X_1) + m(X_2)] - [m(X_3) + m(X_4)]] \cdot C^2$$

**العلاقة الثانية:** (لا تصلح إذا كان تحول يصدر جسيم  $\beta$ )

$$\Delta E = [E_{L,f} - E_{L,i}]$$

$$\Delta E = [E_L(X_3) + E_L(X_4)] - [E_L(X_1) + E_L(X_2)]$$

تحتوي  $[E_L(X_1) + E_L(X_2)]$  الطاقة التي تكتسبها الجملة عند تنفك النواتين  $X_1$  و  $X_2$  إلى نوياتهما متفرقة وساكنة.

تحتوي  $[E_L(X_3) + E_L(X_4)]$  الطاقة التي تحررها الجملة عند تشكل النواتين  $X_3$  و  $X_4$  انطلاقا من نوياتهما متفرقة وساكنة.

$E_{lib}$ : الطاقة المحررة.

**ملاحظة:**

إذا  $\Delta E < 0$  المجموعة **تحرر** طاقة إلى الوسط الخارجي.

إذا  $\Delta E > 0$  المجموعة **تكتسب** طاقة من الوسط الخارجي.



## الإجابة على بعض الأسئلة النظرية

<p>⚡ كيف يتم قياس النشاط الإشعاعي؟</p> <p>⚡ نقيس النشاط الإشعاعي بواسطة <u>عداد جيجر</u>.</p> <p>⚡ ماهي خصائص النشاط الإشعاعي؟</p> <p>⚡ تلقائي (عفوي): يحدث دون وسائط خارجية.</p> <p>⚡ عشوائي: لا نعرف متى يحدث.</p> <p>⚡ حتمي: النواة غير المستقرة تتفكك عاجلاً أو آجلاً.</p> <p>⚡ ماهي النواة المشعة؟</p> <p>⚡ هي نواة غير مستقرة تتفكك تلقائياً لتنتج نواة ابن أكثر استقراراً مع إصدار لجسيمات <math>\alpha</math> أو <math>\beta^-</math>, <math>\beta^+</math> وقد تصاحبها أشعة <math>\gamma</math>.</p> <p>⚡ هل يتعلق زمن نصف العمر <math>t_{1/2}</math> بـ:</p> <p>✓ عدد الأنوية <math>N_0</math> ✓ نوع النظير المشع ✓ درجة الحرارة ✓ الضغط؟</p> <p>⚡ زمن العمر <math>t_{1/2}</math> يتعلق بنوع النظير المشع فقط.</p> <p>⚡ كيف تفسر وجود أنوية مستقرة وأنوية غير مستقرة؟</p> <p>⚡ توجد الأنوية مستقرة: لوجود القوى النووية القوية في النواة التي تعمل على ربط النيوترونات بالبروتونات.</p> <p>⚡ توجد الأنوية غير المستقرة: وذلك لعدة أسباب منها:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. الأنوية التي بها عدد كبير من النكليونات <math>A &gt; 200</math> تعتبر أنوية ثقيلة نتوقع لها تفكك من نوع <math>\alpha</math>.</li> <li>2. الأنوية التي لها فائض في النيوترونات مقارنة مع نواة أخرى موجودة في واد الاستقرار ولهما نفس العدد الكتلي <math>A</math>. نتوقع لها تفكك من نوع <math>\beta^-</math>.</li> <li>3. الأنوية التي لها فائض في البروتونات مقارنة مع نواة أخرى موجودة في واد الاستقرار ولهما نفس العدد الكتلي <math>A</math>. نتوقع لها تفكك من نوع <math>\beta^+</math>.</li> </ol> <p>⚡ ماذا يمثل المخطط <math>N - Z</math>؟ وماهي أهميته؟</p> <p>⚡ المخطط <math>N - Z</math>: يمثل توزيع الأنوية حسب عدد البروتونات والنيوترونات.</p> <p>⚡ أهميته: تحديد الأنوية المستقرة والأنوية غير المستقرة كما يوضح نوع الإشعاع الصادر <math>(\beta, \alpha)</math>.</p>	<p>⚡ ما هو الزمن الموافق لتفكك عينة مشعة كلياً؟</p> <p>⚡ الزمن الموافق لتفكك عينة مشعة كلياً هو: <math>t = 5\tau = 5 \frac{t_{1/2}}{\ln 2}</math></p> <p>⚡ ما الفرق بين التحول النووي التلقائي والتحول النووي المفتعل؟</p> <p>⚡ التحول النووي التلقائي: يحدث دون مؤثر خارجي مثل التفككات الإشعاعية <math>(\beta^-, \beta^+, \alpha)</math>.</p> <p>⚡ التحول النووي المفتعل: يحدث بوجود مؤثر خارجي مثل الانشطار والاندماج.</p> <p>⚡ هل يمكن الاعتماد على طاقة ربط نواة لمقارنة استقرار الأنوية؟</p> <p>⚡ لا يمكن الاعتماد على طاقة ربط نواة لمقارنة استقرار الأنوية ولذلك نلجأ إلى طاقة ربط لكل نكليون (<math>\epsilon</math>) فكلما كانت طاقة الربط لكل نكليون كبيرة كانت النواة أكثر استقراراً.</p> <p>⚡ عرّف علاقة التكافؤ كتلة-طاقة لأينشتاين:</p> <p>⚡ كل جسيم يملك كتلة <math>m</math> في الكون له طاقة <math>E</math> تعطى بالعلاقة التالية: <math>E = m \cdot C^2</math>.</p> <p>⚡ عرّف واحدة الكتلة الذرية <math>u</math>: تمثل كتلة نوية واحدة.</p> <p>⚡ هي كتلة <math>\frac{1}{12}</math> من ذرة واحدة من الكربون <math>^{12}_6C</math>: <math>1u = \frac{1}{12} m(^{12}_6C)</math></p> <p>⚡ في تفاعل الانشطار لماذا نقذف النواة بـ نيوترون؟</p> <p>⚡ لأنّ النيوترون عديم الشحنة.</p> <p>⚡ ماذا يمثل منحنى أستون؟ وماهي أهميته؟</p> <p>⚡ منحنى أستون: يمثل سالب طاقة الربط لكل نكليون <math>\left(-\frac{E_L}{A}\right)</math> بدلالة العدد الكتلي <math>A</math>.</p> <p>⚡ أهميته: تحديد مجال الأنوية الأكثر استقراراً، والأنوية القابلة للانشطار، والقابلة للاندماج.</p> <p>⚡ لماذا يسمى تفاعل الانشطار تفاعل تسلسلي مغذى ذاتياً؟</p> <p>⚡ النيوترونات الناتجة من تفاعل الانشطار تحدث تفاعلات انشطار أخرى فيكون التفاعل تسلسلي وتتضاعف الآلية وتكون التغذية ذاتية.</p> <p>⚡ على أي شكل تظهر الطاقة المحررة من تفاعل الانشطار؟</p> <p>⚡ تظهر على شكل: <u>طاقة حركية</u>، <u>طاقة حرارية</u>.</p>
<p>⚡ استغلال الطاقة النووية</p> <p>⚡ تركيب يسمح بتحقيق تفاعل الانشطار النووي والتحكم فيه.</p> <p>⚡ من أكبر مشاكل المفاعلات النووية هي الفضلات النووية نظراً لطول أنصاف العمر لبعض العناصر (مثل اليود الذي له نصف عمر <math>t_{1/2} = 1,75 \cdot 10^7 \text{ans}</math>) لذا تستوجب شروط تخزين خاصة.</p>	<p>⚡ استغلال الطاقة النووية</p> <p>⚡ يتم استغلال الطاقة النووية في إنتاج الطاقة الكهربائية وكوقود لبعض الغواصات والصواريخ والطائرات السريعة، كما تستغل في المجال العسكري وذلك بإنتاج القنابل النووية.</p>