

PHYSICS

BAC

3AS

التحوّلات النووية



هنري بيكرال مكتشف ظاهرة النشاط الإشعاعي



بيار وماري كوري في المختبر

درسنا حتى اليوم نوعا واحدا من التحوّلات المعروف بالتحوّلات الكيميائية والذي يتدخل فيه الإلكترونات أثناء تحطم أو تشكل الروابط الكيميائية، تشكل الشوارد أثناء تفاعلات الأكسدة الإرجاعية والتفاعلات حمض/أساس. كما توجد أيضا تحولات أخرى يتدخل فيها نوى الذرات والتي تعرف بالتحوّلات النووية.

تم اكتشاف التحوّلات النووية الأولى عن طريق الصدفة، من طرف العالم بيكرال Becquerel سنة 1896 حيث وضع في درج ألواح فوتوغرافية بجوار عينة من الأورانيوم، وبعد مرور بضعة أيام، لاحظ أن هذه الألواح الفوتوغرافية تأثرت كما لو عرضناها للضوء. فاستنتج بيكرال أن الأورانيوم يصدر تلقائيا إشعاعا. ثم تطرق من بعده بياروماري كوري إلى دراسة هذه الظاهرة التي أطلقا عليها اسم «النشاط الإشعاعي - la radioactivité».

التحوّلات النووية les transformations nucléaires

النوى الذرية

- بنية النوى الذرية :

تشكل الذرة من إلكترونات ونواة وهذه الأخيرة تتشكل هي أيضا بدورها من دقائق (بروتونات ونوترونات) تسمى النوكليونات (les nucléons).

يرمز لكل نواة بالصيغة ${}^A_Z X$ ، حيث :

A : عدد النوكليونات أو رقم الكتلة.

Z : العدد الشحني ويوافق إلى عدد البروتونات.

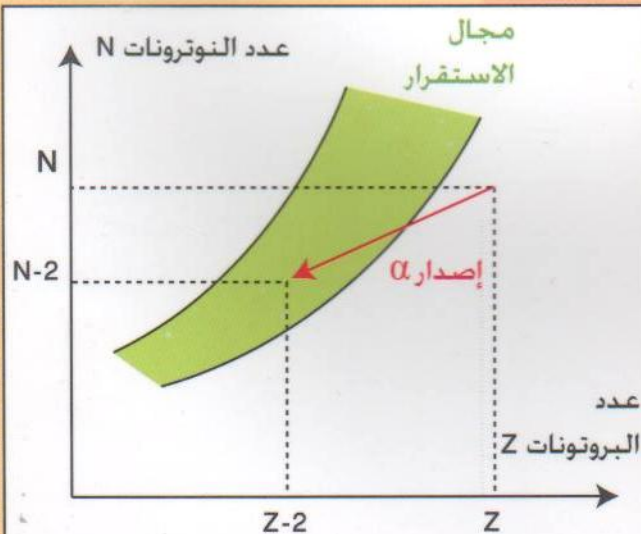
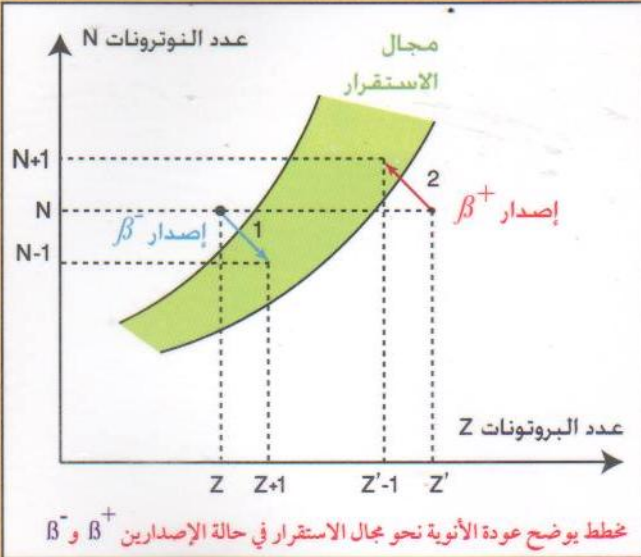
X : رمز العنصر الكيميائي.



يوجد حاليا 112 عنصرا كيميائيا، كل منها يتميز بعدد البروتونات التي تحتوي عليها نواته. وهكذا، فإن الشاردة أو الذرة التي تشكل من 8 بروتونات وتنتمي حتما إلى عنصر الأكسجين مهما كان عدد النيوترونات والإلكترونات التي تمتلكها. الذرات، الشوارد أو الأيونية التي تمتلك نفس عدد البروتونات وتختلف في عدد توترونها تسمى النظائر (isotopes).

النوى المستقرة والنوى المشعة

ليست كل الأنوية المختلفة المعروفة مستقرة. تكون النواة مستقرة إذا لم تتغير تلقائيا خلال الزمن في حين أن النواة المشعة (غير المستقرة) تتفكك تلقائيا معطية بذلك نواة جديدة (النواة البنت) مع إصدار دقيقة α أو β وعموما إشعاع γ .



- تكون الأنوية مستقرة إذا كان عددا البروتونات والنيوترونات متقاربين.
- الأنوية المستقرة الخفيفة التي من أجلها تكون $Z \leq 20$ تحقق العلاقة: $Z \approx N$.
- كل الأنوية المستقرة التي يكون عددها الشحني Z أكبر من 20 تحتوي على عدد من النيوترونات أكبر من عدد البروتونات.
- يسمى المجال الذي يحتوي على الأنوية المستقرة «وادي الاستقرار». كل نواة يكون عددها الشحني Z أكبر من 82 هي نواة غير مستقرة.



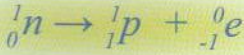
المخطط (Z,N) الذي يعطي مجال استقرار الأنوية مدونة التيبية والتكوين

الأنواع المختلفة للنشاط الإشعاعي

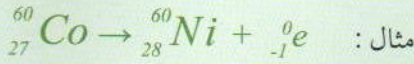
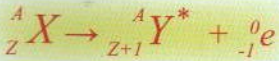
تخضع الأنوية غير المستقرة إلى واحد أو عدة تفككات تلقائية تتحوّل على إثرها إلى أنوية مستقرة.

* النشاط الإشعاعي β^- :

يمكن أن يحصل داخل الأنوية غير المستقرة الغنية بالنوترونات تفككا نوويا من النوع β^- حيث يتم تحويل نوترون إلى بروتون مع إصدار إلكترون كما ترجمه معادلة التفكك النووي التالية:



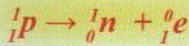
وتكتب معادلة التفاعل النووي β^- التي تخضع لها النواة ${}_Z^AX$ على النحو التالي:



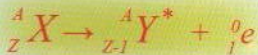
* النشاط الإشعاعي β^+ :

النشاط الإشعاعي من النوع β^+ اصطناعي لأنه لا يشمل سوى الأنوية الاصطناعية الفقيرة جداً بالنوترونات والتي لا يمكنها أن تكون مستقرة وهي على هذا الحال.

ينتج هذا النشاط عن التحوّل، داخل النواة، لبروتون إلى نوترون مع إصدار دقيقة β^+ المعروفة باسم البوزيتون كما توضحه المعادلة التالية:



- البوزيتون ${}_1^0e$ هو دقيقة كتلتها تساوي إلى كتلة الإلكترون ${}_1^0e$ ولكن شحنته معاكسة له. تكتب معادلة التفاعل النووي الذي تخضع له النواة ${}_Z^AX$ بالشكل التالي:



* النشاط الإشعاعي α :

النشاط الإشعاعي α هو التفكك النووي الذي يحدث للأنوية الكبيرة والذي تصدر خلاله أنوية الهيليوم ${}_2^4He$ والمعروفة باسم «دقائق α ». تكتب معادلة التحوّل النووي من النوع α بالشكل



وتكون قوانين الإنحفاظ التالية محققة خلال التحوّل النووي :

- قانون انحفاظ الشحنة الكهربائية : الشحنة الكهربائية للمتفاعلات تساوي إلى الشحنة الكهربائية للنواتج.

- قانون انحفاظ عدد النيوكليونات : عدد النيوكليونات ثابت لا يتغير خلال التحوّل النووي.

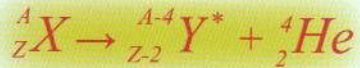
- قانون انحفاظ الطاقة.

واعتماداً على قانوني الإنحفاظ الأولين، لدينا:

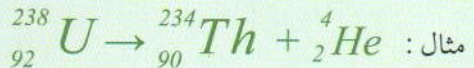
$$Z \cdot e = Z' \cdot e + 2e \Rightarrow Z' = Z - 2$$

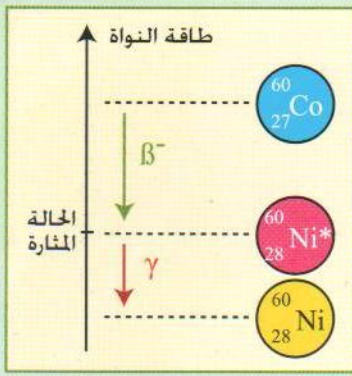
$$A = A' + 4 \Rightarrow A' = A - 4$$

وبذلك يمكن كتابة معادلة التفكك النووي على النحو التالي:



تشير كتابة النجمة (*) إلى جنب رمز النواة إلى أن هذه الأخيرة تمتلك طاقة زائدة، فنقول عنها أنها في حالة إثارة (état excité).

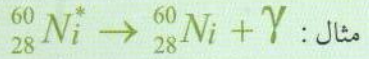
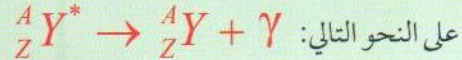




* الإصدار γ : بعد حدوث التفكك α , β^+ أو β^- تكون النواة البنت الناتجة في حالة مثارة حيث تملك زيادة من الطاقة.

ترجع النواة البنت إلى حالتها الطبيعية بعد زوال حالة الهيجان وذلك بإصدار إشعاع أو عدة إشعاعات كهرومغناطيسية معروفة بالإشعاعات γ .

وتكتب المعادلة العامة التي تعبر عن زوال حالة الهيجان مع إصدار الإشعاع γ



وفي الحالة التي يكون فيها ΔN و Δt متناهيين في الصغر، فإنه يمكن تعويض « Δ » بالحرف d الذي يرمز إلى المشتق، ونحصل بذلك على المعادلة التفاضلية التالية:

$$\frac{dN}{dt} + \lambda \cdot N = 0 \dots (2)$$

ونقبل بأن حل هذه المعادلة هو من الشكل:

$$N(t) = A \cdot e^{kt}$$

وبتعويض N بعبارته $A \cdot e^{kt}$ في المعادلة (2)، نحصل على

$$\text{ما يلي: } kAe^{kt} + \lambda A \cdot e^{kt} = 0$$

$$\text{أي أن: } (k + \lambda)A \cdot e^{kt} = 0$$

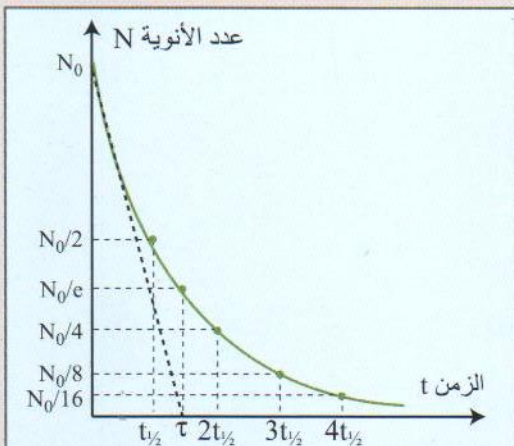
$$\text{ومنه: } k + \lambda = 0 \Rightarrow k = -\lambda$$

$$\text{وبما أن: } N(t) = Ae^{kt}, \text{ إذن: } N(0) = Ae^0 = A$$

$$\text{مع العلم أن } N_0 \text{ يوافق إلى } N(0). \text{ إذن: } A = N_0$$

ونحصل بذلك في النهاية على قانون التناقص الإشعاعي:

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



التناقص الإشعاعي

* قانون التناقص الإشعاعي:

- التفكك التلقائي (α , β^- , β^+) لنواة غير مستقرة ${}^A_Z X$ هو ظاهرة عشوائية تماما، وبالتالي فإنه يستحيل توقع اللحظة التي تحدث عندها.

وبالمقابل فإنه يمكن توقع التطور بدلالة الزمن لعدد النوى ${}^A_Z X$ المشعة $N(t)$ لعينة إذا كان عدد النوى N_0 في اللحظة $t = 0$ معروفاً.

- ليكن ΔN هو التغير في عدد النوى المشعة ${}^A_Z X$ بين اللحظتين t و $t + \Delta t$:

$$\Delta N = N(t + \Delta t) - N(t) \quad (\Delta N < 0)$$

إذا كان: $|\Delta N| \ll N(t)$ ، فإن ΔN يكون متناسبا مع:

◀ العدد $N(t)$ للأنوية المشعة ${}^A_Z X$ في العينة عند اللحظة t .

◀ المدة الزمنية Δt .

$$\text{ونكتب إذن: } \Delta N = -\lambda \cdot N(t) \cdot \Delta t \dots (1)$$

حيث: $\lambda > 0$.

يسمى « λ » ثابت الإشعاع ويقدر بالوحدات التالية:

$$\text{jour}^{-1}, \text{h}^{-1}, \text{min}^{-1}, \text{s}^{-1}$$

نعطي في الجدول التالي قيم ثابت الإشعاع λ في بعض الأنوية المشعة:

النواة	${}^{15}_8 O$	${}^{222}_{86} Rn$	${}^{236}_{92} U$	${}^{14}_6 C$	λ
	$0,340 \text{ min}^{-1}$	$0,18 \text{ jour}^{-1}$	$2,96 \times 10^{-8} \text{ an}^{-1}$	$1,21 \times 10^{-4} \text{ an}^{-1}$	

تسمح العلاقة $\Delta N = -\lambda \cdot N(t) \cdot \Delta t$ بالحصول على

$$\text{المعادلة التالية: } \frac{dN}{dt} + \lambda \cdot N = 0 \dots (1) \text{ مدونة الترتيب والتكوين}$$

◀ العلاقة التي تربط بين $t_{1/2}$ و τ :

$$N(t) = \frac{N(0)}{2} \text{ لدينا، تعريفًا،}$$

وفي الحالة الخاصة حيث $t = 0$,

$$N(t_{1/2}) = \frac{N(0)}{2} = \frac{N_0}{2} \text{ لدينا:}$$

$$N(t_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} \text{ مع:}$$

$$N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} = \frac{N_0}{2} \text{ وعليه:}$$

$$e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} = \frac{1}{2} \Rightarrow \ln(e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}) = \ln \frac{1}{2} \text{ ومنه:}$$

$$-\lambda \cdot t_{1/2} = \ln 2 \text{ أي أن:}$$

$$t_{1/2} = \tau \cdot \ln 2 \text{ أو:}$$

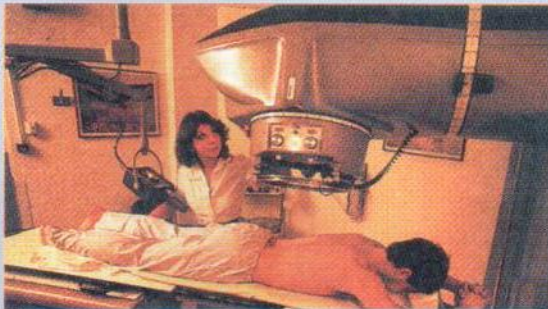
$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \text{ إذن:}$$

نتائج وتطبيقات النشاط الإشعاعي

- المفعولات البيولوجية:

يؤدي اختراق الدقائق (α, β^+, β^-) وكذلك الإشعاعات γ لجسم الإنسان إلى حدوث تأثيرات تتسبب في تحطيم الخلايا ويمكن أن تؤدي إلى الموت كما يمكن أن تؤدي الإشعاعات إلى تغيير الـ ADN ويترتب عن ذلك تشوهات جينية. فكلما كان نشاط المنبع معتبرا كلما كانت المخاطر المنجزة عنه كبيرة.

- التطبيقات: توجد عدة تطبيقات للنشاط الإشعاعي، نذكر منها: التأريخ في الجيولوجيا وعلم الآثار، العلاج بالأشعة، التصوير الطبي والتعقيم.



يبقى العلاج بالأشعة هو أحسن طريقة للحد من انتشار الخلايا السرطانية

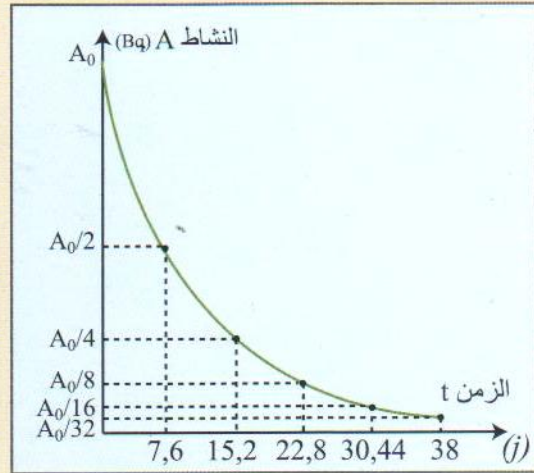
يوافق نشاط عينة إلى عدد التفكك التي تخضع لها في ثانية واحدة.

$$A(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda \cdot t} \text{ ومنه: } A(t) = -\frac{dN}{dt} \text{ تعريفًا:}$$

أي أن: $A(t) = \lambda N(t)$ حيث وحدة λ هي s^{-1} بوضع: $\lambda N_0 = A_0$ نحصل على العلاقة التالية:

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

يقدر النشاط $A(t)$ بوحدة البيكرال (Bq) وهو النشاط الموافق إلى تفكك واحد في كل ثانية.



◀ ثابت الزمن τ ونصف العمر $t_{1/2}$ لعنصر مشع:

* يعطى ثابت الزمن τ المميز لعنصر مشع، تعريفًا

$$\text{بالعلاقة: } \tau = \frac{1}{\lambda}$$

يقدر τ بالثانية (s) إذا كان ثابت الإشعاع مقدار بـ s^{-1} يمكن التعبير عن قانون التناقص الإشعاعي والنشاط $A(t)$ لعينة بدلالة ثابت الزمن τ :

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ و } A = A_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

يمكن تعيين ثابت الزمن τ بيانيا، فهو يوافق إلى فاصلة نقطة تقاطع محور الفواصل مع المماس للمنحنى البياني $N(t)$ أو $A(t)$ في اللحظة $t = 0$.

* يوافق نصف العمر $t_{1/2}$ لعنصر مشع إلى الزمن اللازم كي يتفكك نصف عدد أنوية هذا العنصر الموجودة عند اللحظة $t = 0$ والمؤنونة كعينة الأتومية

التكافؤ كتلة - طاقة :

- علاقة إنشتاين : تمتلك كل جملة، حتى ولو كانت ساكنة، طاقة بفعل كتلتها تسمى «طاقة الكتلة» والتي تحسب بواسطة علاقة إنشتاين التالية:

$$E = m.c^2$$

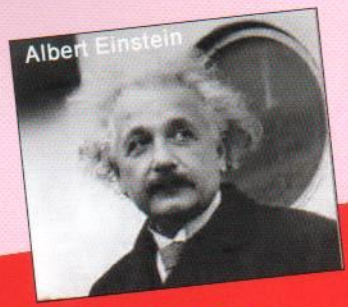
حيث: E هي طاقة الكتلة مقدره بالجول (J) .
 m الكتلة بالكيلوغرام (kg) .
 $c = 3.10^8 m/s$ سرعة الضوء في الفراغ :



لغز الكتلة الناقصة

وتسمى أيضا علاقة إنشتاين بعلاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة والتي بموجبها كل جملة ساكنة تتربح/ تخسر طاقة، تتربح/ تخسر كتلة ويترجم ذلك بالمساواة التالية:

$$\Delta E = \Delta m . c^2$$



وحدات الكتلة والطاقة

◀ وحدة الكتلة الذرية : تساوي وحدة الكتلة الذرية u إلى $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون 12 .
 كتلة الكربون 12 هي $12 u$.

$$1u = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

مدونة التربة والتكوين

◀ **الإلكترون فولط** : يستعمل في تقدير الطاقة على المستوى الذري في التفاعلات النووية وحدة الإلكترون فولط (eV) ومضاعفاته:

$$1eV = 1,62 \times 10^{-19} J$$

الرمز	الإسم	القيمة
keV	الكيلو إلكترون فولط	$10^3 eV$
MeV	الميغا إلكترون فولط	$10^6 eV$
GeV	الجيغا إلكترون فولط	$10^9 eV$

طاقة الربط للنواة

◀ **النقص في كتلة النواة** : تتكون النواة ${}_Z^A X$ من Z بروتونا و $N = A - Z$ نوترونا.
 نتوقع أن تحقق كتلتها m_X المساواة التالية:

$$m_X = Z . m_p + (A-Z) . m_n$$

حيث يرمز m_p و m_n إلى كتلة البروتون والنوترون على التوالي.

لكنه في الواقع، فإننا نلاحظ وجود نقص في الكتلة من أجل كل نواة معرف على النحو التالي:

$$\Delta m = Z.m_p + (A-Z).m_n - m_X$$

◀ **طاقة الربط** : طاقة الربط E_ℓ لنواة هي الطاقة التي يجب تقديمها لنواة ساكنة في مرجع معين من أجل تفكيكها إلى مختلف نيوكليوناتها المعزولة والساكنة. وتطبيق قانون انحفاظ الطاقة، يمكن كتابة المساواة التالية:

$$m_X c^2 + E_\ell = Z.m_p.c^2 + (A-Z) m_n.c^2$$

طاقة كتلة النواة X طاقة كتلة البروتونات طاقة كتلة النوترونات

وبذلك تكون طاقة ربط النواة E_ℓ هي:

$$E_\ell = [Z.m_p + (A-Z).m_n].c^2 - m_X.c^2$$

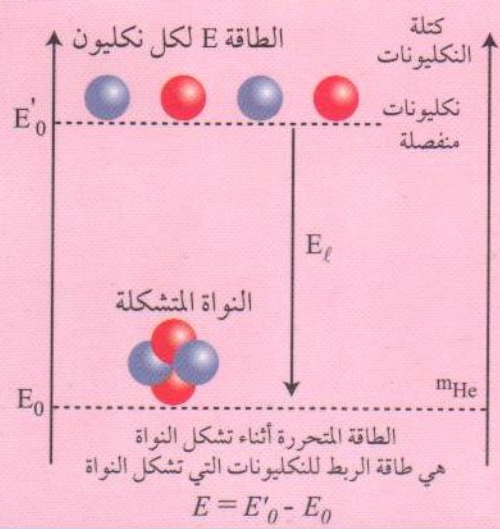
$$E_\ell = [Z.m_p + (A-Z).m_n - m_X].c^2$$

$$E_\ell = \Delta m.c^2 \quad \text{https://www.educafile.com/}$$

يسمح المنحنى البياني (منحنى أستون Aston) بمتابعة تطور $\frac{E_\ell}{A}$ بدلالة A . وغالبا ما يفضل تمثيل $-\frac{E_\ell}{A}$ بدلالة A .
توجد النقاط الممثلة للأنوية الأكثر استقرارا على الجزء السفلي للمنحنى البياني.

مبدأ الانشطار والإندماج

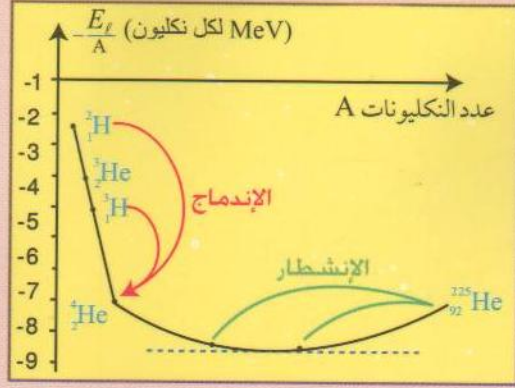
يمكن للأنوية التي تمتلك طاقات ربط لكل نكليون ضعيفة نسبيا، أن تتحول إلى أنوية أخرى أكثر استقرارا محررة على إثر ذلك طاقة. ويمكن أن يتم ذلك بواسطة طريقتين هما الانشطار والإندماج النوويين.



الانشطار والإندماج النوويان

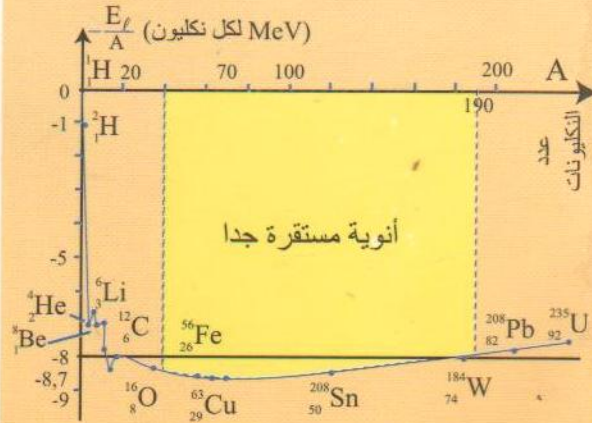
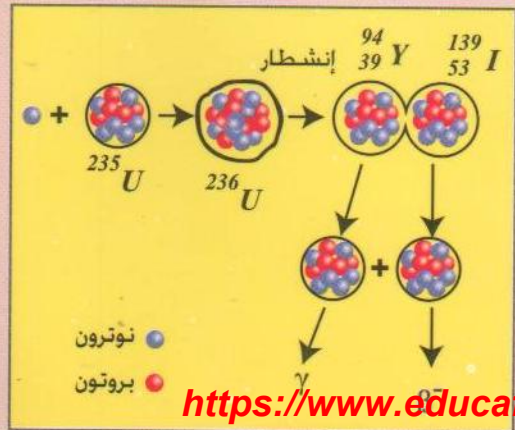
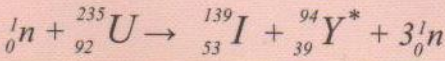
* طاقة الربط لكل نكليون.

عندما تكون النواة مستقرة، فإن قابليتها للخضوع إلى تفكك نووي ضعيفة نتيجة كونها نواة صلبة، متينة ومتسامكة وهذا يعني أن الطاقة التي يجب صرفها لانتزاع نكليون منها، أي $\frac{E_\ell}{A}$ هي طاقة جد معتبرة. فكلما كانت النواة أكثر استقرارا، كلما كانت طاقة الربط لكل نكليون $\frac{E_\ell}{A}$ مرتفعة.

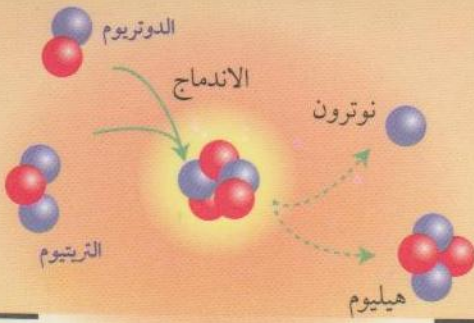


* الانشطار النووي la fission nucléaire

الانشطار هو تفاعل نووي مفتعل يتم خلاله انقسام نواة ثقيلة إلى نواتين خفيفتين عموما وذلك تحت تأثير صدمة نوترون، محمل بطاقة حركية مناسبة، مع النواة.



تمثل القيمة المتوسطة للطاقة اللازمة لانتزاع نكليون منها. ويمكن انتزاع البروتونات بأكثر سهولة من النوترونات، ولقد تم التأكد من أن الأنوية المختلفة التي تشترك في نفس العدد الكتلي (A) لها طاقات الربط لكل نكليون متقاربة. مدونة التربية والتكوين



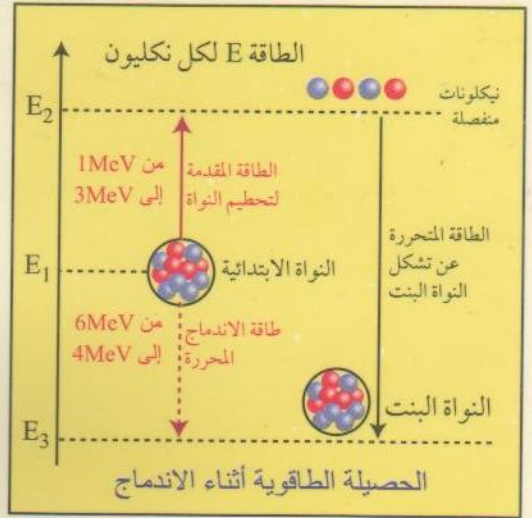
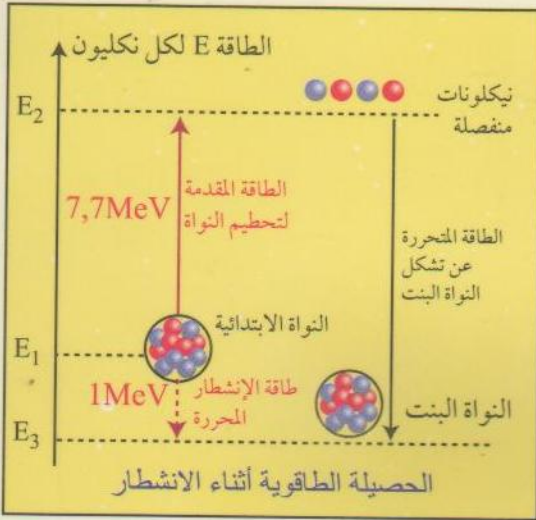
* الإندماج النووي : la fusion nucléaire :
 الإندماج هو تفاعل نووي مفتعل يتم خلاله التحام نواتين خفيفتين لتشكيل نواة أثقل مع تحرير طاقة.
 يتطلب هذا التفاعل النووي ضغطا ودرجة حرارة جدّ عاليتين.



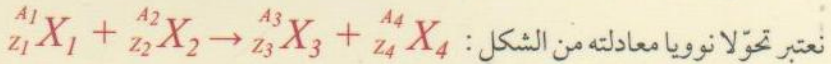
الحصيلة الطاقوية لتفاعل نووي :

يتمثل تحقيق الحصيلة الطاقوية لتفاعل نووي حساب : $\Delta E = E_{\text{produits}} - E_{\text{réactifs}}$ ،

حيث $E_{\text{réactifs}}$ و E_{produits} هما طاقتا الكتلة للنواتج والمتفاعلات. إذا حررت الجملة طاقة، نقول عن التفاعل أنه ناشر للحرارة ويكون لدينا : $\Delta E < 0$



الطاقة التي يستقبلها الوسط الخارجي على شكل طاقة حركية E_c أو إشعاع γ تساوي إلى $+\Delta E$



$$\Delta E = [m({}^{A_3}_{Z_3}X_3) + m({}^{A_4}_{Z_4}X_4) - m({}^{A_1}_{Z_1}X_1) - m({}^{A_2}_{Z_2}X_2)] \cdot c^2$$

لدينا :

$$\Delta E = [m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}}] \cdot c^2$$

أي :

للانتقال من الحالة الابتدائية E_i إلى الحالة النهائية E_f ، فإن طاقة الجملة تتغير بالمقدار :

$$\Delta E = E_f - E_i$$

وعلى إثر ذلك تربح الجملة الطاقة $E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)$ وتخسر الطاقة $E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)$

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

ويكون لدينا إذن :

$$\Delta E = E_\ell(\text{réactifs}) - E_\ell(\text{produits})$$

أي :

ضبط مطابقته للبرنامج المقرر :

<https://www.educafile.com/>

مدونة التربية والتكوين

