الفيزياء النوويّة

الدرس الأول: تركيب النواة وخصائصها
Nucleus Structure and its Properties

بِنية النّواة Structure of the Nucleus

1. تتكوّن الذرّة من نواة موجبة الشحنة تتحرّك حولها إلكترونات سالبة الشحنة.
2. الذرة متعادلة كهربائيًّا، لان شحنة النواة الموجبة فيها تساوي عدديًّا شحنة الإلكترونات السالبة.
3. حجم النواة صغير جدًّا مقارنة بحجم الذرة، و معظم كتلة الذرة تتركز في النواة على نحو ما بيّنت نتائج تجربة رذرفورد.
4. تتكوّن النواة من نوعين من الجُسيمات؛ بروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات متعادلة الشحنة، وكتلة النيوترون مقاربة لكتلة البروتون.
5. ويُطلق اسم ال (نيوكليون **Nucleon**)على كلٍّ من البروتون والنيوترون.

العدد الذري Atomic number (Z) : هو عدد البروتونات داخل النواة، وهو يعبّر عن شحنة النواة، ويساوي عدد الإلكترونات في الذرة المتعادلة.

العدد الكتلي Mass number (A) : مجموع عدد البروتونات والنيوترونات داخل النواة.

عدد النيوترونات neutron number (N) : هو عدد النيوترونات داخل النواة .

ويُعبَّر عن نواة أيّ عنصر برمزه الكيميائي، إضافة إلى عددها الذري وعددها الكتلي على النحو الآتي:

$A= Z+N$ ⟶ ${}^{A}_{Z}X$

حيث X : تمثّل الرمز الكيميائي للعنصر،
و$(A= Z+N)$.

النظائر Isotopes : عبارة عن ذرات من عنصر معين تحمل نفس العدد الذري، ولكنها تختلف في العدد الكتلي.

ومثال ذلك(${}^{12}_{6}C$ و ${}^{14}_{6}C$) وهي ذرات لعنصر(الكربون) نفسه كونها تمتلك العدد الذريّ نفسه.

وحدة الكتلة الذرية Atomic mass unit (amu) ، وتساوي $(\frac{1}{12})$ من كتلة نظير الكربون 12 $({}^{12}_{6}C)$

$$1\ amu = 1.660539 \times 10^{-27}\text{kg}$$

ويوضّح الجدول التالي كتلة كل من البروتون والنيوترون والإلكترون، بوحدة الكيلوغرام ووحدة الكتل الذرية (amu) حيث أُضيف الإلكترون من أجل المقارنة.

الجُسيم	الكتلة (kg)	الكتلة (amu)
إلكترون	9.1094×10^{-31}	0.000549
بروتون	1.672619×10^{-27}	1.007276
نيوترون	1.674929×10^{-27}	1.008665

كثافة النواة Density of the Nucleus

معظم النوى تأخذ شكلاً كرويًّا تقريبًا، وقد أثبتت التجارب العملية أنّ نصف قطر النواة (r) يتناسب مع الجذر التكعيبي لعددها الكتلي:

$$r = r_0 A^{\frac{1}{3}}$$

حيث r_0 :ثابت يساوي تقريبًا $1.2 \times 10^{-15} m$

وعليه، فإنّ حجم النواة (V) يتناسب طرديًّا مع عددها الكتلي:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi (r_0 A^{\frac{1}{3}})^3 = \frac{4}{3}\pi {r_0}^3 A$$

ونظرًا إلى أنّ النواة تتكوّن من نيوكليونات (بروتونات ونيوترونات) كتلها متقاربة، فإنّه يمكن التعبير عن كتلة النواة بدلالة كتلة النيوكليون على النحو الآتي:

$$m = m_{nuc}\, A$$

حيث m_{nuc} : متوسط كتلة النيوكليون وتساوي تقريبًا $(1.66 \times 10^{-27} Kg)$.

ولإيجاد كثافة النواة (ρ) بقسمة كتلة النواة (m) على حجمها (V):

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_{nuc}\, \cancel{A}}{\frac{4}{3}\pi {r_0}^3 \cancel{A}} = \frac{m_{nuc}}{\frac{4}{3}\pi {r_0}^3} = \frac{1.67 \times 10^{-27}}{\frac{4}{3}\pi (1.2 \times 10^{-15})^3} = 2.3 \times 10^{17}\ kg/m^3$$

أنّ كثافة النواة لا تعتمد على عددها الكتلي، ما يعني أنّ كثافة المادّة النووية متساوية في النوى جميعها، وهي تساوي $(2.3 \times 10^{17}\ kg/m^3)$ تقريبًا.

ما يعني أنّ كثافة المادّة النووية متساوية في النوى جميعها، وهي تساوي تقريبًا $(2.3 \times 10^{17}\ kg/m^3)$ وهي كثافة كبيرة جدًّا، فلو افترضنا أنّ الأرض مصنوعة من مادّة نووية فقط (نيوكليونات)، لكانت كرة نصف قطرها تقريبًا (180 m) فقط.

هل تختلف النظائر بعضها عن بعض في الخصائص الكيميائيّة أم الفيزيائية؟

تختلف النظائر عن بعضها في الخصائص الفيزيائية، ولها نفس الخصائص الكيميائية.

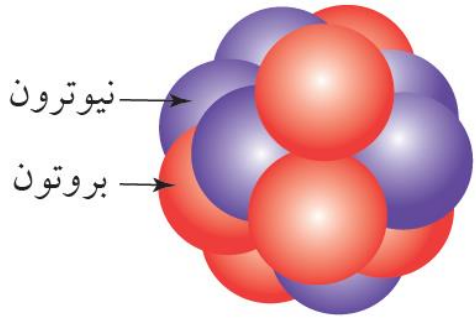
هل تزداد كثافة النواة بزيادة العدد الكتلي أم تبقى ثابتة؟ أفسّر إجابتي.

تبقى كثافة النواة ثابتة لأنها لا تعتمد على العدد الكتلي للنواة.

مثال 1: كتاب

يمثّل الشكل المجاور نواة عنصر الكربون ورمزه (C)، حيث تمثّل الكرات الحمراء البروتونات، والكرات الزرقاء النيوترونات. باستخدام الشكل المجاور جد ما يأتي:

1. العدد الذريّ
2. الشحنة الكهربائية للنواة
3. عدد النيوترونات
4. العدد الكتلي
5. عدد النيوكليونات
6. كيف تُكتب صيغة النواة لهذا العنصر



نواة الكربون

المُعطيات: الشكل

المطلوب : $Z = ?\ ,\ A = ?\ ,\ N = ?\ ,\ q = ?$

الحلّ:

1. العدد الذريّ يساوي عدد البروتونات وهو: $Z = 6$
2. الشحنة الكهربائية للنواة :

$$q = Ze = 6 \times 1.6 \times 10^{-19} = 9.6 \times 10^{-19}\text{C}$$

3. عدد النيوترونات : $N = 6$
4. العدد الكتلي (وهو يساوي عدد النيوكليونات) :

$$A = Z + N = 6+6 = 12$$

5. عدد النيوكليونات = العدد الكتلي .
6. تُكتب صيغة النواة لهذا العنصر على الشكل التالي : ${}^{12}_{6}C$

مثال 2: كتاب

أجد لكلٍّ من النوى الآتية العدد الذريّ والعدد الكتليّ، وعدد النيوكليونات والنيوترونات، وأضعها في جدول:

${}^{16}_{8}O\ ,\ {}^{17}_{8}O\ ,\ {}^{206}_{82}Pb\ ,\ {}^{208}_{82}Pb$

المُعطيات:

${}^{16}_{8}O\ ,\ {}^{17}_{8}O\ ,\ {}^{206}_{82}Pb\ ,\ {}^{208}_{82}Pb$

المطلوب : $Z\ ,\ A\ ,\ N$

الحلّ:

النواة	Z	N	A	عدد النيوكليونات
${}^{16}_{8}O$	8	8	16	16
${}^{17}_{8}O$	8	9	17	17
${}^{206}_{82}Pb$	82	124	206	206
${}^{208}_{82}Pb$	82	126	208	208

مثال 3: كتاب

أجد كتلة البروتون بوحدة الكتلة الذريّة (amu) علما أن كتلة البروتون بوحدة الكيلوجرام (kg) تساوي ($1.672622 \times 10^{-27} kg$).

المُعطيات : كتلة البروتون $1.672622 \times 10^{-27} kg$

المطلوب : $m_p = ?$ بوحدة amu

الحلّ:

$$1\ amu = 1.660539 \times 10^{-27} kg$$

$$m_p = \frac{1.672622 \times 10^{-27}}{1.660539 \times 10^{-27}} = 1.007276\ amu$$

مثال 4: كتاب

جد نسبة نصف قطر النواة ($^{A}_{Z_1}X$) إلى نصف قطر النواة ($^{8A}_{Z_2}Y$).

المُعطيات : $A_X = A \quad , \quad A_Y = 8A$

المطلوب : $\frac{r_X}{r_Y} = ?$

الحلّ:

$$\frac{r_X}{r_Y} = \frac{r_0 \sqrt[3]{A_X}}{r_0 \sqrt[3]{A_Y}} = \frac{\sqrt[3]{A}}{\sqrt[3]{8A}} = \frac{1}{\sqrt[3]{8}} = \frac{1}{2}$$

نطاق الاستقرار Stability Valley

تتكوّن النواة من نيوترونات متعادلة الشحنة، وبروتونات موجبة الشحنة محصورة في حيّز صغير جدًّا، وتؤثر البروتونات بعضها في بعض بقوة تنافر كهربائيّة. ولو كانت قوة التنافر الكهربائية هي القوة الوحيدة التي تؤثر في البروتونات، لانفصلت وابتعد بعضها عن بعض.

ما الذي يمنع النواة من التفكك بوجود قوة تنافر كهربائيّة بين لبروتونات؟

لا بدّ من وجود قوة تجاذب بين البروتونات لتتغلّب على قوة التنافر الكهربائية، وهذه القوة هي **القوة النووية القويّة** Strong nuclear force وسنكتفي في هذا الكتاب بتسميتها قوة نووية، وهي قوة تجاذب كبيرة بين النيوكليونات.

على ماذا تعتمد القوة التجاذب النووية بين النيوكليونات؟

1. قوة التجاذب النووية قصيرة المدى لا يظهر تأثيرها إلا إذا كانت النيوكليونات قريبة جدًّا بعضها من بعض. فإذا زادت المسافة بين نيوكليون وآخر عن (3 fermi) تقريبًا، فإنّ القوة النووية تنعدم بينهما، علماً أنّ($1\ fermi = 10^{-15} m$) ، حيث تُستخدم هذه الوحدة في الفيزياء النووية نظرًا إلى أنّ المسافات متناهية في الصغر على مستوى الأبعاد النووية.
2. لا تعتمد على الشحنة الكهربائية؛ أيْ إنّها تكون قوة تجاذب بين: (بروتون وبروتون)، (بروتون ونيوترون)، (نيوترون ونيوترون) .

ما المقصود باستقرار النواة لعنصر معين ؟

هي العناصر التي لا تفقد طاقة أو تشعّ جُسيمات نوويّة، وتبقى أنويتها على حالها بمرور الزمن، ويوجد أيضًا نوى أخرى غير مستقرة قد تفقد طاقة أو تشعّ جُسيمات نوويّة، وتتحوّل إلى نوى أخرى أكثر استقراراً.

على ماذا يعتمد استقرار النواة ؟

عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات في النواة، فلا يمكن لنواة تحتوي على البروتونات فقط (باستثناء ذرة الهيدروجين التي تتكوّن نواتها من بروتون واحد فقط) أن تكون مستقرة؛ لأنّ قوة التنافر الكهربائية بين البروتونات ستؤدي إلى عدم استقرار النواة. لذا حتى تكون النواة مستقرة فلا بدّ من أن تحتوي على عدد مناسب من النيوترونات. والنيوترونات متعادلة كهربائيًّا؛ لذا، فإنها تسهم في إضافة قوة تجاذب نووية دون أن تزيد من قوة التنافر الكهربائية داخل النواة. ما يعني أن نسبة عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات $(\frac{N}{Z})$ عامل مهمّ في استقرار النواة. ولمعرفة المزيد عن هذا العامل، أتأمّل نسبة عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات لبعض النوى المستقرة المبينة في الجدول التالي وأستقصي هذه النسبة.

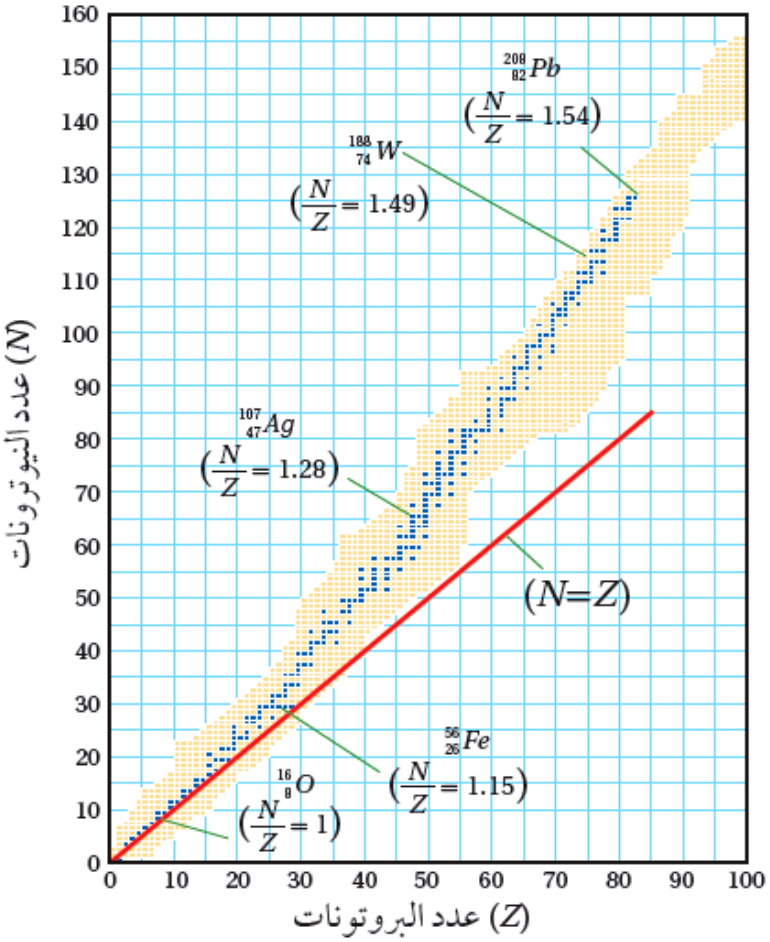
النواة	عدد البروتونات (Z)	عدد النيوترونات (N)	النسبة $\frac{N}{Z}$
${}^{12}_{6}C$	6	6	1
${}^{16}_{8}O$	8	8	1
${}^{40}_{20}Ca$	20	20	1
${}^{56}_{26}Fe$	26	30	1.15
${}^{120}_{50}Sn$	50	70	1.4
${}^{208}_{82}Pb$	82	126	1.54

جدول يبين نسبة عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات لبعض النوى المستقرة.

ملاحظات على الجدول السابق :

1. النوى المستقرة التي يقلّ عددها الذري عن 20 أو يساويه ($Z \leq 20$) معظمها تمتلك العدد نفسه من البروتونات و النيوترونات.
2. النوى المستقرة التي عددها الذري أكبر من 20 وأقل من 83 تحوي عددًا من النيوترونات أكبر من عدد البروتونات.
3. تزداد نسبة ($\frac{N}{Z}$) مع زيادة العدد الذري للنوى المستقرة التي يقع عددها الذري بين 20 و 83.

وعند تمثيل العلاقة بين عدد البروتونات وعدد النيوترونات للنوى بيانيًّا، نحصل على منحنى يُسمى منحنى (N-Z) أتأمّل الشكل في التالي ، حيث مثّلت النوى المستقرة بنقاط زرقاء في حين تمثل النقاط الصفراء النوى غير المستقرّة، ويُلاحظ من الشكل أنّ النوى المستقرة تقع ضمن نطاق ضيق يُسمّى نطاق الاستقرار Stability valley ممثلا بالنقاط الزرقاء.



في الشكل المجاور توزيع النوى حسب عدد البروتونات والنيوترونات ونطاق الاستقرار.

ملاحظات على الشكل المجاور :

1. معظم النوى المستقرة التي عددها الذري $(Z \leq 20)$ لها نسبة $(\frac{N}{Z}=1)$ مثل: $^{12}_{6}C$, $^{16}_{8}O$, $^{40}_{20}Ca$ بينما هذه النسبة تقريبا تساوي 1 لنواة $^{7}_{3}Li$.

2. بزيادة عدد البروتونات تزداد قوة التنافر بينها، فيتطلّب ذلك عددًا أكبر من النيوترونات لجعل القوة النووية هي القوة السائدة في النواة ما يؤدي إلى استقرارها. وتزداد النسبة $\frac{N}{Z}$ بزيادة عدد البروتونات لتصل إلى 1.54 تقريبًا لنواة الرصاص $^{208}_{82}Pb$ ، إنّ امتلاك نواة الرصاص 126نيوترونًا مقابل 82 بروتونًا يسهم في زيادة القوة النووية؛ كي تتغلب على قوى التنافر الكهربائية المتبادلة بين البروتونات، ما يؤدي إلى استقرار النواة.

3. لا يوجد نوى مستقرة عددها الذري أكبر من 82 $(Z > 82)$لأنّ عدد البروتونات يصبح كبيرًا، فتزداد قوة التنافر الكهربائية إلى حدٍّ تتغلب فيه على قوة التجاذب النووية، ما يؤدي إلى عدم استقرار النواة. فزيادة بروتون واحد يؤدي إلى زيادة كبيرة في مقدار قوة التنافر الكهربائي؛ لأنّه يتنافر مع 82 بروتوناً، أمّا إضافة نيوترون واحد فلا يضيف إلا قليلا من قوة التجاذب النووية؛ لأنّها قوة قصيرة المدى، والنيوترون الإضافي يتفاعل مع النيوكليونات القريبة منه فقط، ولا يؤثر ولا يؤثر في النيوكليونات البعيدة عنه.

ما نسبة $(\frac{N}{Z})$ التي تستقرّ عندها النوى التي يقلّ عددها الذري عن 20 ؟

$(\frac{N}{Z}=1)$ للنوى الخفيفة التي عددها الذري يقل عن أو يساوي 20 ، لكن هذه النسبة تقريبا تساوي 1 لنوى أخرى مستقرة مثل $^{7}_{3}Li$.

أيّهما أكبر القوة النووية المؤثرة في نيوكليون موجود على سطح النواة أم المؤثّرة في نيوكليون موجود داخل النواة؟ أفسّر ذلك.

النيوكليونات الموجودة داخل النوى تتأثر بقوة نووية أكبر من تلك الموجودة على سطح النواة، لأن النيوكليون الموجود داخل النوى محاط بنيوكليونات من جميع الجوانب، لذلك يتأثر بقوة نووية أكبر من ذلك الموجود على سطح النوى.

طاقة الربط النوويّة Nuclear Binding Energy

طاقة الربط النووية Nuclear binding energy (BE) :هي الطاقة التي يجب تزويدها للنواة لفصل مكوّناتها (النيوكليونات) بعضها عن بعض نهائيًّا.

بيّن العالم أينشتين أنّ الطاقة (E) ترتبط بالكتلة (m) بالعلاقة التالية :

$$E = mc^2$$

حيث :

c : سرعة الضوء في الفراغ $c = 3\times10^8\ m/s$

m : كتلة الجسم بوحدة (kg) .

وتُسمّى العلاقة السابقة تكافؤ (الكتلة ـ الطاقة)

خلُص أينشتين إلى أنّ كتلة الجسم هي مقياس لمحتوى الجسم من الطاقة وتتحوّل الكتلة إلى طاقة أو العكس حسب العلاقة :

$$E = \Delta mc^2$$

حيث : Δm تمثّل التغيّر في كتلة الجسم.

مبدأ حفظ (الكتلة ـالطاقة) : تحول الكتلة الي طاقة أو الطاقة الي كتلة ، وهذه التغيّرات يمكن ملاحظتها على مستوى الأجسام الذريّة أو دون الذريّة (دون الجاهرية) على نحو ما موجود في التفاعلات النووية.
وعند دراسة التغييرات على المستوى دون الجاهري لا بد من تطبيق مبدأ حفظ (الكتلة ـالطاقة) بدلاً من مبدأ حفظ الطاقة.

ما مقدار الطاقة الناتجة من تغيُّر في الكتلة بمقدار وحدة كتلة ذرية واحدة ($1\ amu$)؟

الحلّ:

$$1\ amu = 1.660539 \times 10^{-27}\text{kg}$$

$$E = \Delta mc^2 = 1.660539 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{8^2}$$

$$= 1.494533 \times 10^{-10}\text{J}$$

$$= \frac{1.494533 \times 10^{-10}}{1.6\times10^{-19}} = 931.5\ \text{MeV}$$

وهذا مقدار كبير من الطاقة ناتج عن تحول وحدة كتلة ذرية واحدة وسبب ذلك سرعة الضوء العالية .
ولذلك فإنّ أي تغيّرًا صغيرًا جدًّا في الكتلة ينتج عنه مقدار كبير من الطاقة كما يلي :

$$1\ amu = 931.5\ \text{MeV}$$

$$2\ amu = 2 \times (931.5) = 1863\ \text{MeV}$$

وبذلك عند استخدام الكتلة بوحدة (amu) يمكن كتابة معادلة تكافؤ(الكتلة – الطاقة) على الصورة:

$$E = \Delta m \times 931.5\ \text{MeV}$$

وهذه الصورة لمعادلة تكافؤ (الكتلة-الطاقة) هي المستخدمة في الحسابات النووية.
يمكن إعادة تعريف طاقة الربط النووية بالفرق بين كتلة النواة ومجموع كتل مكوّناتها مضروبا بمربع سرعة الضوء،

ويُحسب فرق الكتلة من العلاقة الآتية:

$$\Delta m = (Z\, m_p + N\, m_n - M)$$

حيث:

M : كتلة النواة

m_p :كتلة البروتون

m_n : كتلة النيوترون

ملاحظة : مجموع كتل مكوّنات النواة دائمًا أكبر من كتلة النواة.

وتُحسب طاقة الربط النووية (BE) بوحدة (MeV) لأيّ نواة من العلاقة الآتية:

$$BE = \Delta m \times 931.5 = (Z\, m_p + N\, m_n - M) \times 931.5$$

ويبيّن الجدول التالي طاقة الربط النووية لبعض النوى:

النواة	A	BE (MeV)	BE/A (MeV)
ليثيوم ($^{7}_{3}Li$)	7	39.24	5.606
نيكل ($^{62}_{28}Ni$)	62	545.26	8.795
فضة ($^{107}_{47}Ag$)	107	915.26	8.554
رصاص ($^{206}_{82}Pb$)	206	1622.32	7.875

الجدول يوضح طاقة الربط النووية وطاقة الربط لكل نيوكليون لبعض النوى.

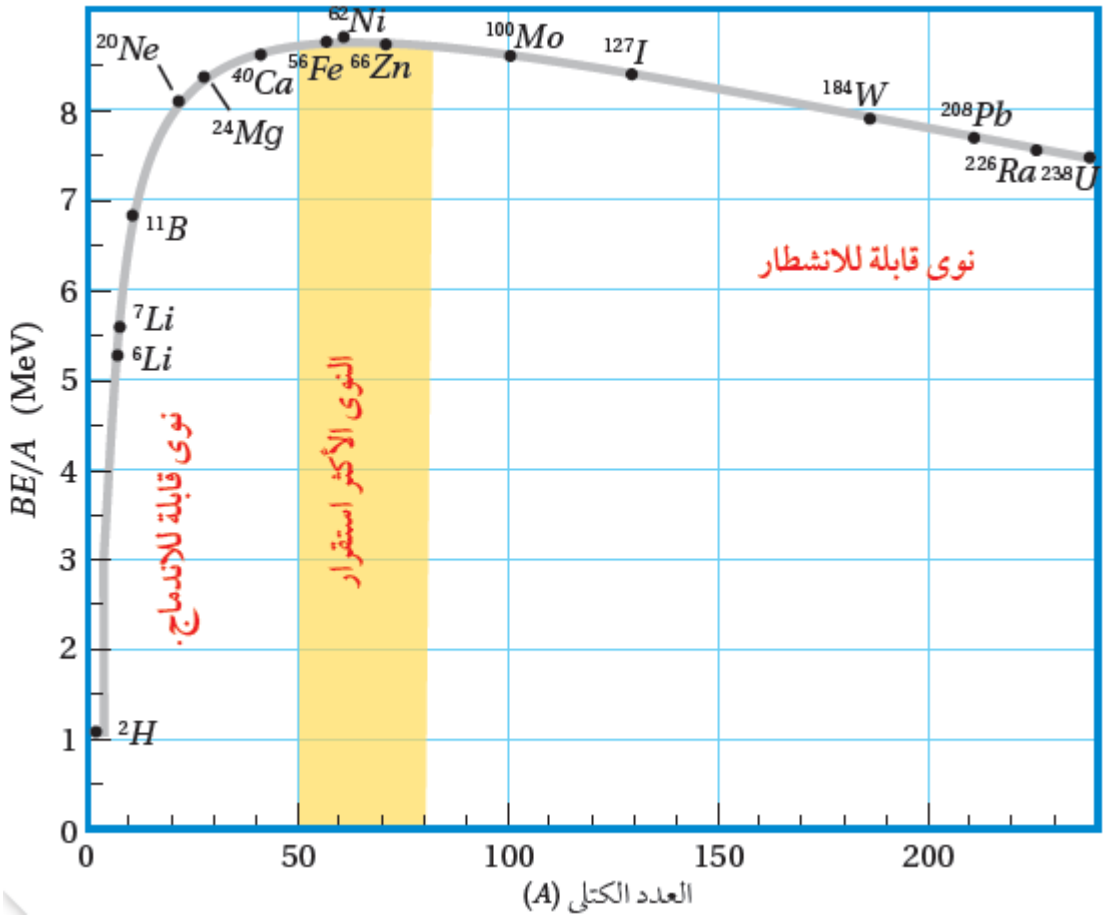
ملاحظات على الجدول :

1. كلّما زاد عدد النيوكليونات زادت الطاقة اللازمة لفصلها، أيْ زادت طاقة الربط النووية.
2. عند تزويد النواة بطاقة (تساوي طاقة الربط النووية) لفصل مكوّناتها كلّها، فإنّ هذه الطاقة تتوزّع على النيوكليونات. ويمكن حساب متوسط الطاقة التي حصل عليها كلّ نيوكليون بقسمة طاقة الربط النووية للنواة (BE) على عدد النيوكليونات التي تحتويها (A).
3. تُسمّى (BE/A) طاقة الربط النووية لكل نيوكليون التي تُعدّ مؤشراً على استقرار النواة. فنواة $^{62}_{28}Ni$ لها أكبر طاقة ربط نووية لكل نيوكليون (8.795 MeV) ، لذا فهي أكثر استقرارًا من النوى الثلاث الأخرى المُبيَّنة في الجدول. فكلما زادت طاقة الربط النووية لكل نيوكليون زاد استقرار النواة.

احسب طاقة الربط النووية لنواتي الليثيوم والرصاص في الجدول السابق ؟

1. $\frac{BE}{A}\left(^{7}_{3}Li\right) = \frac{39.24}{7} = 5.606$
2. $\frac{BE}{A}\left(^{206}_{82}Pb\right) = \frac{1622.32}{206} = 7.875$

في الشكل المجاور طاقة الربط النووية لكل نيوكليون مع العدد الكتلي:



ملاحظات على الشكل السابق :

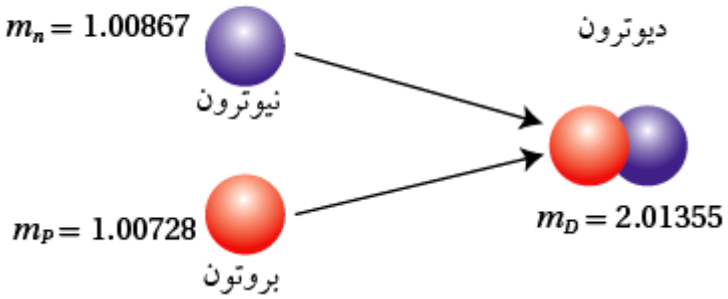
1. الشكل يمثّل العلاقة بين طاقة الربط النووية (BE) لكلّ نيوكليون والعدد الكتلي (A).
2. طاقة الربط النوويّة لكلّ نيوكليون تصل إلى قيمة عظمى عند نواة النيكل$(^{62}_{28}Ni)$ يليها نواة الحديد $(^{56}_{26}Fe)$ما يعني أنّهما أكثر استقرارًا من غيرهما.
3. النوى الخفيفة تميل إلى الاندماج لتكوين نواة أثقل ذات طاقة ربط نوويّة لكل نيوكليون أكبر.
4. انشطار نواة ثقيلة ينتج عنه نوى ذات طاقة ربط نوويّة لكل نيوكليون أكبر.
5. طاقة الربط النوويّة لكل نيوكليون تتغير بمقدار قليل مع زيادة العدد الكتلي للنوى التي عددها الكتلي (A > 50)، ويعزى ذلك إلى صغر مدى القوة النووية القوية، بمعنى أن النيوكليون داخل النواة يتجاذب مع النيوكليونات المحيطة به فقط، ولا يتأثر ببقية النيوكليونات وهذا ما يعرف بإشباع القوة النووية القوية.

أيّ النوى أكثر استقرارًا؟

النوى المتوسطة الكتلة أكثر استقراراً، وهي التي عددها الكتلي قريب من العدد 60 مثل النيكل والحديد.

مثال 5: كتاب

تُسمّى نواة الديتيريوم بالديوترون $(_1^2H \equiv D)$، وتتكوّن من بروتون ونيوترون كما في الشكل المجاور، أحسب فرق الكتلة بين كتلة الديوترون ومجموع كتلتي البروتون والنيوترون، ثم أحسب الطاقة المكافئة لها.



اندماج النيوترون والبروتون لتكوين الديوترون

المُعطيات: الكتل الثبتة على الشكل .

المطلوب : $\Delta m = ?\ ,\ BE = ?$

الحلّ:

$$\Delta m = m_n + m_p - m_D = 2.01595 - 2.01355 = 0.00240\ amu$$

$$BE = \Delta m \times 931.5 = 0.00240 \times 931.5 = 2.2356\ \text{MeV}$$

لاحظ أنّ مجموع كتلتي البروتون والنيوترون منفردين أكبر من كتلة الديوترون، فأين ذهب فرق الكتلة؟ لقد تحوّل فرق الكتلة إلى طاقة. ولفصل الديوترون إلى مكوّناته يجب تزويده بطاقة مقدارها يساوي مقدار الطاقة المتحررة عند إندماج البروتون والنيوترون لتكوين الديوترون، وتساوي طاقة الربط النووي للديوترون.

مثال 6: كتاب

إذا كان فرق الكتلة بين كتلة نواة $(_{82}^{208}Pb)$ وكتلة مكوّناتها يساوي $(2.90 \times 10^{-27}\ \text{kg})$، أحسب طاقة الربط النووية للنواة بوحدة J وبوحدة MeV.

المُعطيات:

$$\Delta m = 2.90 \times 10^{-27}\ \text{kg},\ c = 3 \times 10^8\ m/s,\ 1\ amu = 931.5\ \text{MeV}$$

المطلوب : BE بوحدة J وبوحدة MeV.

الحلّ:

بوحدة الجول:

$$BE = \Delta mc^2 = 2.90 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 = 2.61 \times 10^{-10}\ \text{J}$$

بوحدة MeV:

لحساب الطاقة بوحدة (MeV) ، أحوّل الطاقة من وحدة (J) إلى وحدة (MeV) على النحو الآتي:

$$BE = \frac{2.61 \times 10^{-10}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1631\ \text{MeV}$$

أو يمكن تحويل الكتلة من (kg) إلى وحدة (amu) .

$$1\ amu = 1.660539 \times 10^{-27}\text{kg}$$

$$\Delta m = \frac{2.90 \times 10^{-27}}{1.66 \times 10^{-27}} = 1.75\ amu$$

$$BE = \Delta m \times 931.5 = 1.75 \times 931.5 \approx 1630\ \text{MeV}$$

مثال 7: كتاب

أجد طاقة الربط النووية وطاقة الربط النووية لكلِّ نيوكليون لنواة كلٍّ من (الرصاص $^{206}_{82}Pb$ والليثيوم $^{7}_{3}Li$)، علمًا أنّ كتل النوى مرفقة في الجدول الآتي:

الجُسيم أو النواة	m_p	m_n	$m_{^{7}_{3}Li}$	$m_{^{206}_{82}Pb}$
الكتلة (amu)	1.00728	1.00867	7.01436	205.92945

المُعطيات: الجدول، $amu = 931.5\ \text{MeV}$

المطلوب : $BE = ?,\ BE/A = ?$

الحلّ:

أولا للرصاص :

$$BE(Pb) = (Z\,m_p + N\,m_n - M) \times 931.5$$
$$= (82 \times 1.00728 + 124 \times 1.00867 - 205.92945) \times 931.5$$
$$= 1.7426 \times 931.5 \approx 1623\ \text{MeV}$$

وهذه تمثل طاقة الربط النووية

$$\frac{BE}{A}(Pb) = \frac{1623}{206} = 7.878\ \text{MeV}$$

وهذه تمثل طاقة كل نيوكليون

ثانيا لليثيوم :

$$BE(Li) = (Z\,m_p + N\,m_n - M) \times 931.5$$
$$= (3 \times 1.00728 + 4 \times 1.00867 - 7.01436) \times 931.5$$
$$= 0.04216 \times 931.5 \approx 39.27\ \text{eV}$$

وهذه تمثل طاقة الربط النووية

$$\frac{BE}{A}(Li) = \frac{39.27}{7} = 5.61\ \text{eV}$$

وهذه تمثل طاقة كل نيوكليون

أسئلة مراجعة الدرس الأول

1. **الفكرة الرئيسة:** أوضّح المقصود بما يأتي: العدد الذري، العدد الكتلي، النيوكليون، طاقة الربط النووية، نطاق الاستقرار.

العدد الذري: عدد البروتونات في النواة.
العدد الكتلي: مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في النواة.
النيو كليون: أسم يطلق على كل من البروتون أو النيوترون.
طاقة الربط النووية: الطاقة التي يجب تزويدها للنواة لفصل مكوناتها (النيوكليونات) عن بعضها نهائياً.
نطاق الاستقرار: النطاق التي تقع ضمنه النوى المستقرة في منحنى $(Z\text{-}N)$.

2. **أستخدم المتغيّرات:** النواة (X) لها ثمانية أضعاف العدد الكتلي للنواة (Y) أجد نسبة:
   a) نصف قطر النواة (X) إلى نصف قطر النواة (Y).
   b) حجم النواة (X) إلى حجم النواة (Y).
   c) كثافة النواة (X) إلى كثافة النواة (Y).

الحلّ:

a) نصف قطر النواة (X) إلى نصف قطر النواة (Y):

$$\frac{r_X}{r_Y} = \frac{r_0\sqrt[3]{A_X}}{r_0\sqrt[3]{A_Y}} = \frac{\sqrt[3]{8A_Y}}{\sqrt[3]{A_Y}} = \frac{\sqrt[3]{8}}{\sqrt[3]{1}} = 2$$

b) حجم النواة (X) إلى حجم النواة (Y):

$$\frac{V_X}{V_Y} = \frac{\frac{4}{3}\pi r_x^3}{\frac{4}{3}\pi r_Y^3} = \frac{r_0^3 A_X}{r_0^3 A_Y} = \frac{8A_Y}{A_Y} = 8$$

c) كثافة النواة (X) إلى كثافة النواة (Y):

$$\frac{\rho_X}{\rho_Y} = 1$$

لأن كثافة النواة ثابتة (تقريبا) لا تعتمد على العدد الكتلي.

3. أجد للنواة $({}^{7}_{3}Li)$ عدد البروتونات وعدد النيوترونات وعدد النيوكليونات .

عدد البروتونات = 3
عدد النيوكليونات = 7
عدد النيوترونات 4= 3- 7

4. **أناقش:** للنيوترون دور مهمّ في استقرار النواة، أناقش صحّة هذه العبارة.
بما أن النيوترون متعادل الشحنة فلا يساهم بقوة تنافر كهربائية، ولكنه يساهم في إضافة قوة تجاذب نووي، فوجود النيوترونات داخل النواة يزيد من قوة التجاذب النووية حتى تصبح القوة النووية هي القوة السائدة مما يساهم في استقرار النواة.

5. **أتوقّع** أيّ النوى الآتية مستقر، وأيّها غير مستقر، مع بيان السبب:
$^{24}_{12}Mg$ ، $^{238}_{92}U$

$^{238}_{92}U$:غير مستقرة حيث عددها الذري أكبر من 82.

$^{24}_{12}Mg$:مستقرة، حيث أن عددها الذري أقل من 20 ، وعدد بروتوناتها يساوي عدد نيوتروناتها.

6. **أحسب** طاقة الربط النووية وطاقة الربط النووية لكل نيوكليون لنواتي (النيكل $^{62}_{28}Ni$ والحديد $^{56}_{26}Fe$) ، حيث:

الجسيم أو النواة	m_p	m_n	$m_{^{62}_{28}Ni}$	$m_{^{56}_{26}Fe}$
الكتلة (amu)	1.00728	1.00867	61.91297	55.92066

الحلّ:

أولا : للنيكل $^{62}_{28}Ni$

$$BE(Ni) = (Z\,m_p + N\,m_n - M) \times 931.5$$
$$= (28 \times 1.00728 + 34 \times 1.00867 - 61.91297) \times 931.5$$
$$= 0.58565 \times 931.5 \approx 545.5 \text{ MeV}$$

وهذه تمثل طاقة الربط النووية.

$$\frac{BE}{A}(Ni) = \frac{545.5}{62} \approx 8.799 \text{ MeV}$$

وهذه تمثل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون .

ثانيا: للحديد $^{56}_{26}Fe$

$$BE(Fe) = (Z\,m_p + N\,m_n - M) \times 931.5$$
$$= (26 \times 1.00728 + 30 \times 1.00867 - 55.92066) \times 931.5$$
$$= 0.52872 \times 931.5 \approx 492.5 \text{ MeV}$$

وهذه تمثل طاقة الربط النووية.

$$\frac{BE}{A}(Fe) = \frac{492.5}{56} \approx 8.794 \text{ MeV}$$

وهذه تمثل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون .

7. **أستنتج**: يمثّل الجدول الآتي: طاقة الربط النووية والعدد الكتلي لبعض النوى فأي النوى أكثر استقراراً؟ أفسّر إجابتي.

النواة	طاقة الربط النوويّة	العدد الكتلي
X	1600 MeV	200
Y	492 MeV	56
Z	28 MeV	4

الحلّ:

النواة	طاقة الربط MeV	العدد الكتلي	طاقة الربط لكل نيوكليون MeV
X	1600	200	$\frac{BE}{A}(X) = \frac{1600}{200} = 8$
Y	492	56	$\frac{BE}{A}(Y) = \frac{492}{56} = 8.786$
Z	28	4	$\frac{BE}{A}(Z) = \frac{28}{4} = 7$

إن طاقة الربط لكل نيوكليون للنواة (Y) هي الأكبر لذلك هي الأكثر استقرارا.

8. **التفكير الناقد:** يُلاحظ من منحنى طاقة الربط النووية لكلّ نيوكليون مع العدد الكتلي أنّ طاقة الربط النووية لكل نيوكليون لا تتغيّر كثيرًا بعد العدد الكتلي (60). فهل لذلك علاقة بأنّ القوة النوويّة قصيرة المدى؟ أفسّر إجابتي.

بما أن طاقة الربط النووية لكل نيوكليون لا تتغير كثيراً، فهذا يعني أن إضافة نيوكليونات جديدة للنواة لا يؤثر كثيراً في طاقة الربط النووية لكل نيوكليون ، والسبب في ذلك أن القوة النووية قصيرة المدى، أي أن النيوكليون داخل النواة يتجاذب مع النيوكليونات المحيطة به فقط ، ولا يتأثر ببقية النيوكليونات وهذ ما يعرف بإشباع القوة النووية القوية.

الدرس الثاني: الإشعاع النوويّ Nuclear Radiation

الاضمحلال الإشعاعيّ Radioactivity Decay

الاضمحلال الإشعاعيّ Radioactivity :هو التحوّل التلقائي لنواة غير مستقرة إلى نواة أكثر استقرارًا عن طريق انبعاث جسيمات مثل جُسيم ألفا أو جُسيم بيتا، وغالبًا ما يصاحب ذلك انبعاث أشعة غاما.

وبيّنت التجارب أن هناك ثلاثة أنواع من الإشعاعات:

1. ألفا (α) : وجسيمات ألفا هي عبارة عن نوى الهيليوم $(_2^4He^{+2})$.
2. بيتا (β) : وجسيمات بيتا قد تكون بيتا السالبة (β^-) وهي عبارة عن إلكترونات $(_{-1}^0e)$.
   أو قد تكون بيتا الموجبة (β^+) وهي عبارة عن بوزيترونات $(_{+1}^0e)$.
3. جاما (γ) : وجاما هي أشعّة كهرمغناطسية (فوتونات) ذات تردّد عالٍ ليس لها كتلة أو شحنة.

والبوزيترون : جُسيم له كتلة الإلكترون نفسها، لكنّه يحمل شحنة موجبة مساوية لشحنة الإلكترون.

ما هي خصائص الأشعة الثلاث (α,β,γ) التي تميزها عن باقي الأشعة ؟

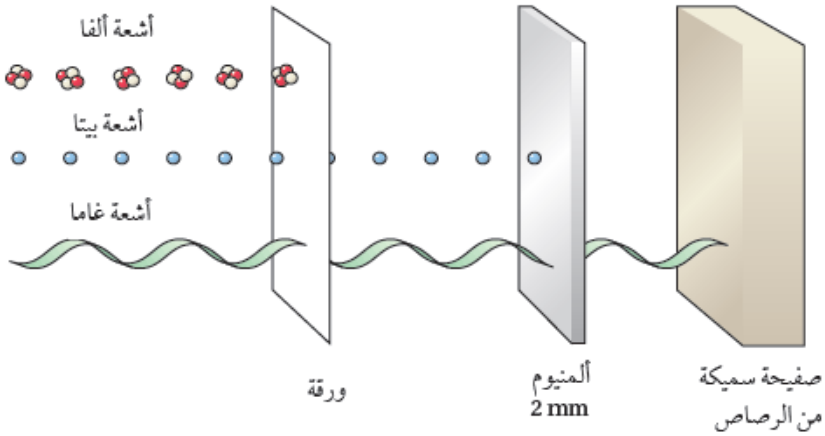
الذي يميزها عن باقي الأشعة :

1. قدرتها على النفاذ (النفاذية أو الاختراق) .
2. قدرتها على التأيين (قدرتها على تأيين ذرات الوسط الذي تمرّ فيه).

على ماذا تعتمد قدرة الأشعة الثلاث (α,β,γ) في النفاذ والتأيين ؟

تعتمد على كتلتها وشحنتها فكلما زادت الكتلة والشحنة تزداد القدرة على التأيين وتقل القدرة على النفاذ.

في الشكل المجاور الذي يبين الأشعة الثلاث (α,β,γ) عند تسليطها على حواجز مختلفة .



ملاحظات على الشكل السابق :

1. كتلة جسيمات ألفا (α) نحو أربعة أضعاف كتلة البروتون تقريبًا، وشحنتها ضعفا شحنة البروتون، ما يجعل تفاعلها مع ذرات الوسط الذي تمرّ فيه كبيرًا مقارنة بتفاعل جسيمات بيتا وأشعة غاما، فتفقد طاقتها بسرعة؛ لذا فإنّ قدرتها على تأيين ذرات الوسط الذي تمرّ فيه أكبر من قدرة جسيمات بيتا وأشعة غاما، في حين أنّ قدرتها على النفاذ أصغر.

2. في المتوسط، تعبر جسيمات ألفا في الهواء مسافة (3.7 cm) تقريبًا قبل أن تُمتصَّ (تفقد) طاقتها كاملة باستخدام حاجز رقيق من الورق.
3. أمّا أشعة غاما، فهي الأقل قدرة على التأيين والأكثر قدرة على الاختراق؛ لأنّها لا تحمل شحنة كهربائية، وليس لها كتلة.

والجدول التالي يمثل المقارنة بين خصائص الأشعة الثلاث من حيث القدرة على النفاذ والتائبين :

نوع الأشعة	ألفا	بيتا	غاما
الشحنة	$+2e$	$+e$ أو $-e$	ليس لها شحنة
الكتلة	$4.0015\ amu$	$0.0005\ amu$	صفر
القدرة على النفاذ	قليلة (تُمتصّ باستخدام حاجز رقيق من الورق)	متوسطة (بضعة ملمترات من الألمنيوم)	كبيرة (سنتمترات عدة من الرصاص)
القدرة على التأيين	كبيرة	متوسطة	قليلة

لماذا اخترقت أشعة غاما الورقة والألمنيوم في حين لم تخترق ألفا الورقة؟

بسبب شحنة الفا وكتلتها فإنها تتفاعل مع ذرات الورقة بشكل أكبر من أشعة غاما؛ لذلك تفقد طاقتها بسرعة وتكون قدرتها على الاختراق قليلة.

اضمحلال ألفا Alpha

جسيمات ألفا (${}^4_2He$:α) تنبعث في الغالب من النوى الثقيلة ($Z > 82$) غير المستقرة، وينتج نواة جديدة تختلف في عددها الذري وعددها الكتلي عن النواة الأم، كما يلي:

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^4_2He$$
$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^4_2He$$

فجُسيم ألفا انبعث من نواة نظير اليورانيوم ($^{238}_{92}U$) غير المستقر (النواة الأم) لينتج عن ذلك نواة نظير الثوريوم ($^{234}_{90}Th$) . وعندما يغادر جسيم ألفا النواة، فإنّها تخسر بروتونين ونيوترونين؛ لذا فإنّ العدد الذريّ للنواة الناتجة يقلّ (2) في حين يقلّ عددُها الكتلي بمقدار(4) مقارنة بالنواة الأم، كما هو موضح في المعادلتين السابقتين.

ويمكن التعبير عن معادلة اضمحلال ألفا بالمعادلة الآتية:

$$^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$$

لاحظُ أن مجموع العدد الذريّ للنوى والجسيمات الناتجة من الاضمحلال يساوي العدد الذري للنواة المضمحلّة، وكذلك مجموع العدد الكتلي للنوى والجسيمات الناتجة من الاضمحلال يساوي العدد الكتلي للنواة المضمحلّة.

اضمحلال بيتا Beta Decay

يحدث اضمحلال بيتا بطريقتين حسب نطاق الاستقرار كما يلي :

أولا : النوى فوق مستوى الاستقرار $(\frac{N}{Z} > 1)$:

إنّ النوى التي تقع فوق نطاق الاستقرار، تمتلك فائضًا من النيوترونات، ويلزمها تقليل عدد النيوترونات وزيادة عدد البروتونات لتقترب نسبة $(\frac{Z}{N})$ من نسبة الاستقرار، ويتم ذلك عن طريق إشعاع جسيم بيتا السالبة (β^-) وهو عبارة عن إلكترون $(_{-1}^{0}e)$ ومثال ذلك التفاعل الآتي:

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

لاحظ أن :

1. $(\frac{N}{Z}(^{14}_{6}C) = \frac{8}{6} > 1)$ وهي نسبة فوق مستوى الاستقرار .
2. العدد الذري للنواة الناتجة قد زاد بمقدار(1)، في حين بقي العدد الكتلي ثابتًا مقارنة بالنواة الأم.
3. الرمز$(\bar{\upsilon})$ يمثّل جسيمًا يُسمّى ضديد النيوترينو، وهو جسيم متعادل الشحنة، وكتلته متناهية في الصغر.
4. ينتج جسيم بيتا السالبة $(\beta^- = {}_{-1}^{0}e)$ من تحلّل أحد نيوترونات النواة (وهي نواة الكربون $(^{14}_{6}C)$ وتحوّله إلى بروتون، وجسيم بيتا السالبة، وضديد النيوترينو $(\bar{\upsilon})$ كما في المعادلة التالية :

$$^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{+1}p + {}_{-1}^{0}e + \bar{\upsilon}$$

ثانيا : النوى أسفل مستوى الاستقرار $(\frac{N}{Z} < 1)$:

أن النوى التي تقع أسفل نطاق الاستقرار، تمتلك فائضًا من البروتونات، ويلزمها تقليل عدد البروتونات وزيادة عدد النيوترونات لتقترب نسبة $(\frac{Z}{N})$ من نسبة الاستقرار، ويتحقّق ذلك بإشعاع جسيم بيتا الموجب (β^+) وهو عبارة بوزترون $(_{+1}^{0}e)$ ومثال ذلك التفاعل الآتي:

$$^{12}_{7}N \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}_{+1}^{0}e + \nu$$

لاحظ أن :

1. $(\frac{N}{Z}(^{12}_{7}N) = \frac{5}{7} < 1)$ وهي نسبة أسفل مستوى الاستقرار .
2. العدد الذري للنواة الناتجة قل بمقدار(1)، في حين بقي العدد الكتلي ثابتًا مقارنة بالنواة الأم.
3. الرمز(ν) يمثّل جسيمًا يُسمّى النيوترينو، وهو جسيم متعادل الشحنة، وكتلته متناهية في الصغر. مثل، ضديد النيوترينو.
4. ينتج جسيم بيتا الموجبة $(\beta^+ = {}_{+1}^{0}e)$ من تحلّل أحد بروتونات النواة (وهي نواة النيتروجين $(^{14}_{6}N)$ وتحوّله إلى نيوترون، وجسيم بيتا الموجبة، والنيوترينو (ν) كما في المعادلة التالية :

$$^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}_{+1}^{0}e + \nu$$

ويمكن التعبير عن معادلتي اضمحلال بيتا السالبة وبيتا الموجبة بالمعادلتين الآتيتين:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}e + \bar{\upsilon}$$

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + {}_{+1}^{0}e + \nu$$

ملاحظة على النوعين:

النواة لا تحتوي على إلكترونات أو بوزترونات، وهذه الجسيمات تنشأ لحظة تحوّل بروتون إلى نيوترون، أو العكس عند حدوث اضمحلال بيتا، وتغادر النواة مباشرة.

تُستخدم أشعة بيتا في ضبط سُمك الورق، فهل تصلح أشعة غاما أو ألفا لذلك؟

لا تصلح أشعة غاما بسبب قدرتها العالية على الاختراق، ولا تصلح أشعة ألفا بسبب قدرتها القليلة على الاختراق.

اضمحلال غاما Gamma Decay

تعلّمتُ أنّ الإلكترونات تتوزّع في مستويات طاقة في الذرة خارج النواة ، كذلك تتوزّع النيوكليونات في مستويات طاقة داخل النواة تبدأ من **مستوى الاستقرار(Ground state).**

مستوى الاستقرار : وهو المستوى الأقل طاقة للنواة.

وعند إشعاع النواة لجسيمات بيتا أو جسيمات ألفا، قد تكون النواة الناتجة في مستوى الاستقرار أو في مستوى إثارة (مستوى طاقة أعلى من مستوى الاستقرار). فإذا كانت النواة الناتجة في مستوى إثارة، فإنّها تنتقل إلى مستوى الاستقرار عن طريق إطلاق أشعة غاما وهي أشعة كهرمغناطيسية (فوتونات) ذات تردّد كبير جدًّا، وليس لها شحنة أو كتلة؛ لذلك لا يتغيّر العدد الذري أو العدد الكتلي للنواة عند انبعاثها. ويمكن التعبير عن اضمحلال غاما بالمعادلة الآتية:

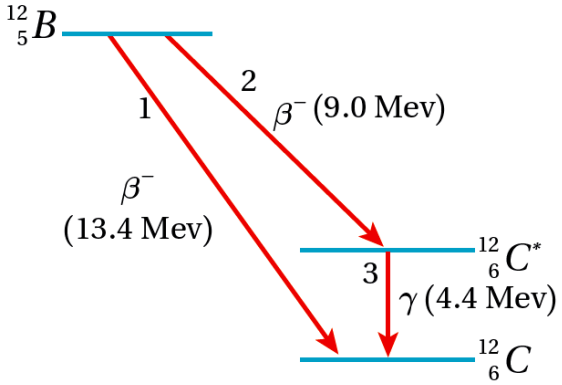
$$ {}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma $$

حيث:

${}^{A}_{Z}X^{*}$: النواة في مستوى إثارة.

${}^{A}_{Z}X$: النواة في مستوى الاستقرار.

γ : أشعة غاما المنبعثة.



اضمحلال نواة البورون بطريقتين

الشكل المجاور يمثل رسمًا تخطيطيًّا لتغيّرات الطاقة عند اضمحلال نواة البورون $({}^{12}_{5}B)$ حيث تُعدّ نواة البورون من باعثات بيتا السالبة؛ لأنّها تمتلك عددًا من النيوترونات أكبر من عدد البروتونات، وعددها الذري أقل من 20 ، لذا فهي تقع فوق نطاق الاستقرار ويحدث الاضمحلال بطريقتين:

الطريقة الأولى: تنتج نواة الكربون $({}^{12}_{6}C)$ في مستوى الاستقرار(طاقته = صفر) حسب المعادلة الآتية:

$$ {}^{12}_{5}B \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{0}_{-1}e + \bar{\upsilon} $$

حيث يتحرّر 13.4 MeV من الطاقة نتيجة لهذا الاضمحلال.

الطريقة الثانية : تنتج نواة الكربون $({}^{12}_{6}C^{*})$ في مستوى الإثارة(طاقته = 4.4 MeV) حسب المعادلة الآتية:

$$ {}^{12}_{5}B \rightarrow {}^{12}_{6}C^{*} + {}^{0}_{-1}e + \bar{\upsilon} $$

حيث يتحرّر 9.0 MeV من الطاقة نتيجة لهذا الاضمحلال.

والنتيجة أن نواة الكربون $({}^{12}_{6}C^{*})$ في مستوى الإثارة بطاقة مقدارها (4.4 MeV)، تسعى للتخلّص من هذه الطاقة الفائضة بإطلاق أشعة غاما طاقتها تساوي (4.4 MeV) لتصل إلى مستوى الاستقرار، حسب المعادلة الآتية:

$$ {}^{12}_{6}C^{*} \rightarrow {}^{12}_{6}C + \gamma $$

ماذا يحدث لكلٍّ من العدد الذري والعدد الكتلي للنواة عند انبعاث أشعة غاما منها؟

انبعاث أشعة غاما من نواة لا يغيّر من عددها الذري أو عددها الكتلي.

مثال 8: كتاب

أدرس المعادلة الآتية، ثمّ أُقارن بين كلٍّ من: العدد الذري، والعدد الكتلي للنواة الناتجة والنواة الأم، وأفسّر سبب هذا التغيّر.

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

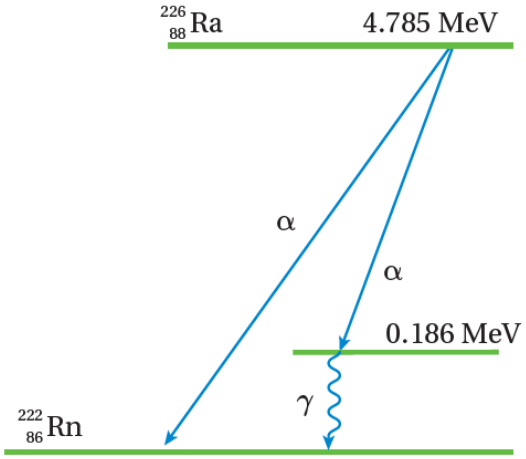
المُعطيات: المعادلة

المطلوب: المقارنة بين كلٍّ من: العدد الذري، والعدد الكتلي للنواة الناتجة والنواة الأم، وتفسير سبب هذا التغيّر.

الحلّ:

يتكوّن جسيم ألفا من بروتونين ونيوترونين، وعند انبعاث جسيم ألفا من النواة الأم فإنّها تخسر بروتونين ونيوترونين؛ لذا يقلّ عددها الذريّ بمقدار(2)، وعددها الكتلي بمقدار(4) .

مثال 9: كتاب



يمثّل الشكل المجاور اضمحلال نواة الراديوم ($^{226}_{88}Ra$) إلى نواة الرادون ($^{222}_{86}Rn$) . عند الكشف عن جسيمات ألفا، وجِد أنّها توجد بطاقتين مختلفتين.

a) ما مقدار طاقتي جُسيم ألفا؟
b) ما مقدار طاقة أشعّة غاما؟
c) أكتب معادلة اضمحلال أشعّة غاما.
d) أكتب معادلة اضمحلال ألفا الذي ينتج عنه طاقة أكبر.

المُعطيات: الشكل

المطلوب: E_α ، E_γ، معادلة اضمحلال غاما، معادلة الاضمحلال التي تُنتج جسيم ألفا بطاقة أكبر

الحلّ:

a) طاقتا جُسيم ألفا هما:

E_α = 4.785 - 0.186 = 4.599 MeV
E_α = 4.785 MeV

b) طاقة أشعة غاما :

E_γ = 0.186 MeV

c) معادلة اضمحلال غاما :

$$^{222}_{86}Rn^{*} \rightarrow ^{222}_{86}Rn + \gamma$$

d) معادلة اضمحلال ألفا الذي ينتج عنه طاقة أكبر:

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow ^{222}_{86}Rn + ^{4}_{2}He$$

مثال 10: كتاب

أدرس التفاعلين النوويين الآتيين، ثمّ أبيّن التغيّرات التي طرأت على كلٍّ من العدد الذري والعدد الكتلي للنواة التي تشعّ جُسيمات بيتا السالبة أو بيتا الموجبة.

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

$$^{12}_{7}N \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{0}_{+1}e + \upsilon$$

الحلّ:

عند انبعاث جسيم بيتا السالبة، فإنّ العدد الذري للنواة الأم يزداد بمقدار (1) في حين لا يتأثر العدد الكتلي.
أمّا عند انبعاث جسيم بيتا الموجبة، فإنّ العدد الذري للنواة الأم يقلّ بمقدار (1) في حين يبقى العدد الكتلي ثابتًا.

تمرين 1: كتاب

أُكمل المعادلات النوويّة الآتية :

$$^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{+1}p + \ldots\ldots\ldots\ldots + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + \ldots\ldots\ldots\ldots + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$^{234}_{92}U \rightarrow {}^{230}_{90}Th + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$^{234}_{91}Pa^{*} \rightarrow {}^{234}_{91}Pa + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

الحلّ:

$$^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{+1}p + {}^{0}_{-1}e + \bar{\upsilon}$$

$$^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{+1}e + \upsilon$$

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

$$^{234}_{91}Pa^{*} \rightarrow {}^{234}_{91}Pa + \gamma$$

النشاطيّة الإشعاعيّة Activity

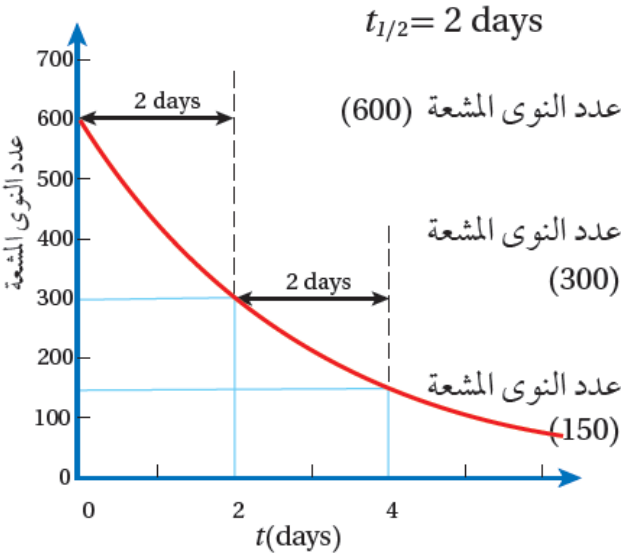
النشاطيّة الإشعاعيّة Activity : وهي تعبّر عن عدد الاضمحلالات في الثانية الواحدة، ويُرمز إليها بالرمز (A) .

إنّ انبعاث جسيمات بيتا أو ألفا من نواة عنصر مشعّ يؤدّي إلى تحوّل النواة الأم إلى نواة جديدة تُسمى النواة الناتجة. وبمرور الزمن يقلّ عدد النوى المشعّة، ويقلّ عدد النوى التي تضمحلّ.
ويتناسب عدد النوى المضمحلّة في الثانية الواحدة طرديًّا مع عدد النوى المشعّة عند لحظة زمنيّة معينة.
ويمكن التعبير رياضيًّا عن عدد النوى المشعة المتبقية بدلالة الزمن بالمعادلة الآتية:

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

حيث (λ) : ثابت التناسب، ويُسمّى ثابت الاضمحلال Decay constant.
N_0 : عدد النوى المشعّة عند الزمن $(t = 0)$.
$N(t)$: عدد النوى المشعّة المتبقية عند الزمن (t) .
عمر النصف $(t_{1/2})$ Half-life : هو الزمن اللازم لاضمحلال نصف عدد النوى المشعّة.

في الشكل المجاور الذي يمثل عدد النوى المشعة المتبقية مع الزمن على اعتبار أن عدد النوى الأصلية (600) وعمر النصف لها $(t_{1/2} = 2\ days)$ فبعد يومين يصبح عدد النوى المتبقي (300) وبعد أربعة أيام يصبح عدد النوى المتبقي (150) وهكذا .



تناقص عدد النوى المشعّة مع الزمن.

ويمكن ربط عمر النصف وعدد النوى المشعة المتبقيّة على النحو الآتي:

$$N_0 \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{N_0}{2} \xrightarrow{2t_{1/2}} \frac{N_0}{4} \xrightarrow{3t_{1/2}} \frac{N_0}{8} \xrightarrow{4t_{1/2}} \frac{N_0}{16}$$

ولحساب عدد النوى الأصلية الى المتبقية في أي لحظة زمنية حيث يمكن التوصّل إلى العلاقة الرياضية الآتية:

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

ويرتبط عمر النصف $(t_{1/2})$ بثابت التحلل (λ) بالعلاقة الآتية:

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

ويُلاحَظ من العلاقة السابقة أنّ عمر النصف يتناسب عكسيًّا مع ثابت الاضمحلال، فعندما يكون ثابت الاضمحلال كبيرًا يكون عمر النصف صغيرًا. وبمرور الزمن يتناقص عدد النوى المشعة، ما يؤدي إلى تناقص معدل الاضمحلال. فتقل النشاطية الإشعاعية (A) التي يمكن التعبير عنها كما يلي:

$$A = \lambda N$$

وعند $(t = 0)$ فإنّ $A_0 = \lambda N_0$ وهي النشاطية الإشعاعية الابتدائية.
تُقاس (A) بوحدة بيكرل becquerel (Bq) أو بوحدة كوري curie (Ci) حيث $(1Ci=3.7\times10^{10}\ Bq)$

البيكرل : وحدة النشاطية الإشعاعية وهي تساوي اضمحلالاً واحدًا في الثانية الواحدة.
وعند مرور زمن يساوي عمر النصف على العينة المشعّة، فإنّ النشاطيّة الإشعاعيّة لها تقلّ إلى النصف.
لذلك يمكن الربط بينهما على النحو الآتي:

$$A_0 \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{A_0}{2} \xrightarrow{2t_{1/2}} \frac{A_0}{4} \xrightarrow{3t_{1/2}} \frac{A_0}{8} \xrightarrow{4t_{1/2}} \frac{A_0}{16}$$

وعليه يمكن التوصل إلى العلاقة الرياضية الآتية:

$$\frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

مثال 11: كتاب

يُستخدم الغاليوم (67) في التشخيص الطبّي. إذا علمت أنّ ثابت الاضمحلال له $(2.4 \times 10^{-6} s^{-1})$، إذا قيست النشاطيّة الإشعاعيّة لعينة منه فكانت (4680 Bq) فأجد الزمن اللازم حتى تصبح النشاطيّة الإشعاعيّة (1170 Bq).

المُعطيات : $A_0 = 4680$ Bq, $\lambda = 2.4 \times 10^{-6} s^{-1}$, $A = 1170$ Bq
المطلوب : $t = 0$?
الحلّ:

$$\frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \rightarrow \frac{1170}{4680} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$\frac{1}{4} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \rightarrow \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$2 = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow t = 2\,t_{1/2} = 2\,\frac{0.693}{\lambda} = \frac{1.386}{2.4 \times 10^{-6}} \approx 5.8 \times 10^5 \text{ s}$$

مثال 12: كتاب

يستخدم نظير الكوبالت (60) في تعقيم الأجهزة الطبية وفي علاج مرض السرطان. عمر النصف لنظير الكوبالت ($^{60}_{27}Co$) يساوي (5.27 y) ، إذا قِيست النشاطيّة الإشعاعيّة لعينة منه عند لحظة زمنيّة معينة فوجدت (0.200 μCi) أجد ما يأتي:

a) عدد النوى المشعّة في العينة.
b) النشاطيّة الإشعاعيّة بعد زمن يساوي ثلاثة أضعاف عمر النصف.

المُعطيات : $A_0 = 0.200\ \mu\text{Ci}$, $t_{1/2} = 5.27$ y
المطلوب : $N_0 = ?$, $A(t = 3t_{1/2}) = ?$
الحلّ:

a) لإيجاد عدد النوى المشعّة في العينة يجب تحويل النشاطيّة الإشعاعيّة من وحدة μCi الى وحدة Bq وتحويل عمر النصف من يوم الى ثانية كما يلي:

$A_0 = 0.200\ \mu\text{Ci} = 0.200 \times 10^{-6} \times 3.7 \times 10^{10} = 7400$ Bq
$t_{1/2} = 5.27$ y $= 5.27 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 = 6924780$ s

$$A_0 = \lambda N_0$$
$$A_0 = \frac{0.693}{t_{1/2}} N_0$$
$$7400 = \frac{0.693}{6924780} N_0$$
$$\rightarrow N_0 = \frac{7400}{1\times10^{-7}} = 7.4 \times 10^{10} \text{ atoms}$$

b) النشاطيّة الإشعاعيّة بعد زمن يساوي ثلاثة أضعاف عمر النصف.

بعد مرور زمن بمقدار عمر نصف واحد تقلّ النشاطيّة الإشعاعيّة للنصف، وتصبح $(0.100\ \mu Ci)$ ، وبعد مرور عمر نصف ثانٍ تصبح النشاطيّة الإشعاعيّة $(0.050\ \mu Ci)$ ، وبعد عمر نصف ثالث تصبح النشاطيّة الإشعاعيّة $(0.025\ \mu Ci)$.

تمرين 2: كتاب

يُستخدم اليود المشعّ في علاج سرطان الغدة الدرقيّة، فإذا كان عمر النصف له (8 days) ،تقريبًا، أجد الزمن اللازم حتى يضمحلّ (75%) منه.

الحلّ:

حتى يضمحل (75 %) منه تعني أن نسبة ما تبقى من النوى المشعة يساوي (25 %)، أي أن:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{25}{100} = \frac{1}{4}$$
$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$
$$\frac{1}{4} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$
$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$
$$\rightarrow 2 = \frac{t}{t_{1/2}}$$
$$t = 2\ t_{1/2}$$
$$= 2 \times 8 = 16 \text{ days}$$

سلاسل الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي Natural Radioactive Decay Series

سلسلة الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي : مجموعة الاضمحلالات التلقائية التي تبدأ بعنصر مشعّ ثقيل، وتنتهي بعنصر مستقرّ من خلال اضمحلال ألفا أو بيتا .

وسلاسل الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي ثلاث سلاسل هي:

1. سلسلة اليورانيوم وتبدأ بنظير اليورانيوم ($^{238}_{92}U$) :عنصر مشعّ يضمحلّ لينتج عنه نظير الثوريوم حسب التفاعل الآتي وينتهي بالرصاص المستقر :

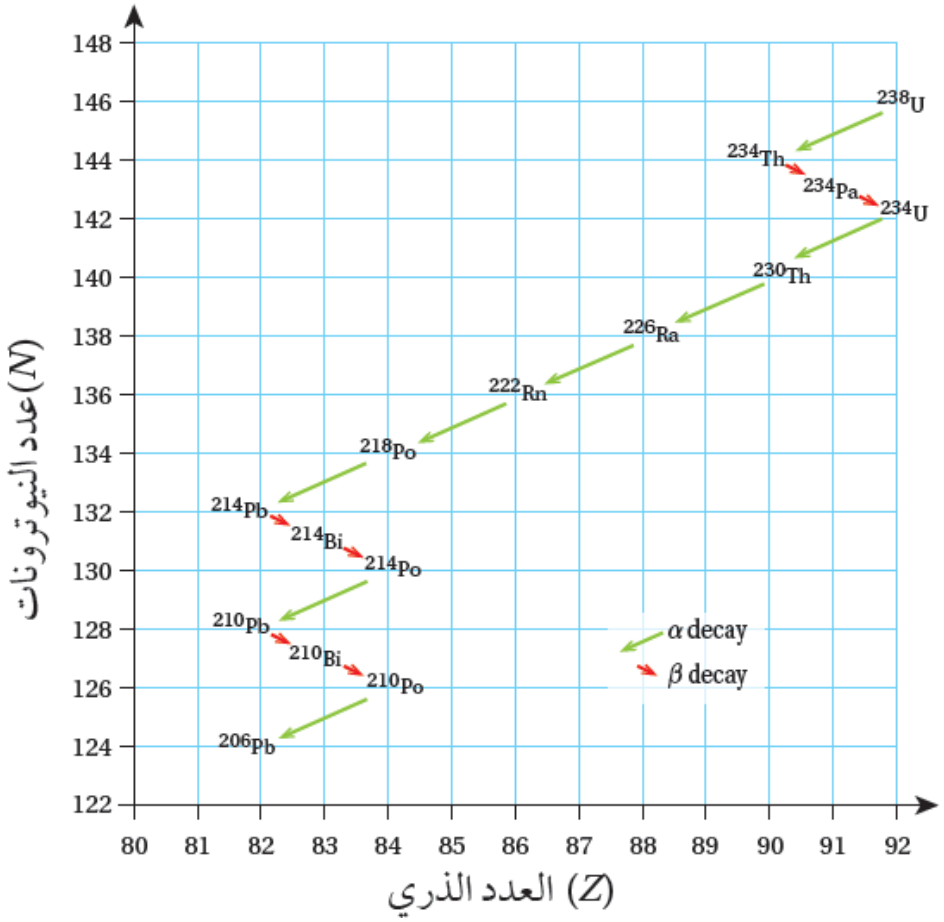
$$^{238}_{92}U \xrightarrow{\alpha} {}^{234}_{90}Th \xrightarrow{\beta^-} {}^{234}_{91}Pa \xrightarrow{\beta^-} {}^{234}_{92}U \xrightarrow{\alpha} {}^{230}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{226}_{88}Ra \ldots {}^{206}_{82}Pb \text{ (مستقر)}$$

2. وسلسلة الثوريوم وتبدأ بنظير الثوريوم ($^{232}_{90}Th$) كما يلي :

$$^{232}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{228}_{88}Ra \xrightarrow{\beta^-} {}^{228}_{89}Ac \ldots\ldots\ldots {}^{208}_{82}Pb \text{ (مستقر)}$$

3. وسلسلة الأكتينيوم وتبدأ بنظير اليورانيوم ($^{235}_{92}U$)

جميع السلاسل تنتهي بأحد نظائر الرصاص المستقر.



والشكل المجاور يمثل سلسلة اضمحلال اليورانيوم ($^{238}_{92}U$) على منحنى (N-Z) .

ومن الشكل يمكن ملاحظة:

1. بداية السلسلة كانت باليورانيوم ($^{238}_{92}U$) .
2. عدد انبعاثات الفا (باللون الأخضر) وعددها (8)
3. عدد انبعاثات بيتا (باللون الأحمر) وعددها (6) .
4. انتهت السلسلة بنظير الرصاص المستقر ($^{206}_{82}Pb$) .

ولذلك يمكن كتابة معادلة اضمحلال بيتا كما يلي :

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + 8\,^4_2He + 6\,{}^0_{-1}e + 6\,\bar{\upsilon}$$

ألاحظ من المعادلة السابقة أنّ العدد الذريّ والعدد الكتلي محفوظان.

مثال 13: كتاب

يمكن التعبير عن سلسلة اضمحلال الثوريوم بالمعادلة:

$$^{232}_{90}Th \rightarrow {}^{208}_{82}Pb + n\,^{4}_{2}He + m\,{}^{0}_{-1}e + m\,\bar{\upsilon}$$

جد عدد جُسيمات بيتا السالبة (m) وعدد جسيمات ألفا (n) في المعادلة السابقة.

المُعطيات: المعادلة النوويّة.

المطلوب: n = ? , m = ?

الحلّ:

أُطبّق أولاً مبدأ حفظ العدد الكتلي (A) لحساب (n) :

$$\sum A_{before} = \sum A_{after}$$
$$232 = 208 + 4n + 0m$$
$$\rightarrow n = \frac{232-208}{4} = 6$$

ثمّ أطبّق مبدأ حفظ العدد الذري(z) لحساب (m) :

$$\sum Z_{before} = \sum Z_{after}$$
$$90 = 82 + 2n + -1m$$
$$90 = 82 + 2\times 6 + -1m$$
$$90 - (82+12) = -1m$$
$$-4 = -1m$$
$$\rightarrow m = 4$$

تمرين 3: كتاب

تمثّل المعادلة الآتية جزءًا من سلسلة اليورانيوم:

$$^{238}_{92}U \xrightarrow{h} {}^{234}_{90}Th \xrightarrow{g} {}^{234}_{91}Pa \ldots\rightarrow \ldots {}^{A}_{Z}X$$

a) ما اسم الجُسيمين (h) و(g)؟

b) إذا انبعث (6) جُسيمات ألفا وجُسيما بيتا السالبة للوصول إلى النواة $(^{A}_{Z}X)$، جد Z وA ؟

الحلّ:

a) الجسيم (h) هو ألفا والجسيم (g)هو بيتا السالبة.

b)

$$A = 238 - 6 \times 4 = 214$$
$$Z = 92 - 2 \times (-1) - 6 \times 2 = 82$$

أسئلة مراجعة الدرس الثاني

1. **الفكرة الرئيسة:** وضّح المقصود بالاضمحلال الإشعاعي وعمر النصف والنشاطيّة الإشعاعيّة.

الاضمحلال الإشعاعي: هو التحوّل التلقائي لنواة غير مستقرة إلى نواة أكثر استقراراً عن طريق انبعاث جُسيم ألفا أو جُسيم بيتا، وغالبًا ما يصاحب ذلك انبعاث أشعة غاما.
عمر النصف: المدة الزمنية اللازمة لاضمحلال نصف عدد النوى المشعة.
النشاطيّة الإشعاعيّة: عدد الاضمحلالات في الثانية الواحدة.

2. **أفسّر** انبعاث أشعة غاما من النواة.
عند انبعاث جسيمات بيتا أو ألفا من نوى بعض النظائر المشعة قد لا تكون النوى الناتجة في مستوى الاستقرار، بل في أحد مستويات الإثارة لها. وحتى تنتقل النوى الناتجة لمستوى الاستقرار فإنها تخسر طاقة تطلقها على شكل أشعة غاما.

3. **أستخدم المتغيّرات:** يقوم أسامة بدراسة نظير مشع في مختبر الإشعاع في جامعته. قاس نشاطيّته الإشعاعيّة فوجدها (400) اضمحلال لكل دقيقة، وبعد ثلاث ساعات أصبحت (100) اضمحلال لكل دقيقة. جد عمر النصف للنظير المشعّ بالدقيقة.

الحلّ:

النشاطية الإشعاعية الابتدائية (400) اضمحلال لكل دقيقة وبعد مضي زمن يساوي عمر النصف تصبح (200) اضمحلال لكل دقيقة (وبعد مضي عمر نصف آخر تصبح (100) اضمحلال لكل دقيقة، وهذا يعني أن العينة مرة عليها زمن يساوي ضعفي عمر النصف، أي أن الثلاث ساعات تساوي ضعفي عمر النصف، ما يعني أن عمر النصف يساوي ساعة ونصف. أو من خلال:

$$\frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$\frac{100}{400} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$\rightarrow 2 = \frac{t}{t_{1/2}}$$

$$2 = \frac{3}{t_{1/2}} \rightarrow t_{1/2} = 1.5 \text{ hr (ساعة)}$$

4. **أحسب:** نظير مشعّ نشاطيّته الإشعاعيّة الآن(800 Bq) وثابت الاضمحلال له $(4 \ln(2)\ days^{-1})$ ، فما المدّة الزمنيّة اللازمة حتى تصبح نشاطيّته الإشعاعيّة (100 Bq) ؟

الحلّ:

$$\frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$\frac{100}{800} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^3 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \rightarrow 3 = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow t = 3\, t_{1/2} = 3\, \frac{\ln(2)}{4 \ln(2)} = \frac{3}{4} \text{ days}$$

5. **أستخدم المتغيرات:** عينة من نظير الثوريوم ($^{228}_{90}Th$) تحتوي على($2.53 \times 10^{21}\ atoms$) ، وثابت الاضمحلال له يساوي($1.15 \times 10^{-8} s^{-1}$) ، جد:
   a) عمر النصف للثوريوم ($^{228}_{90}Th$) .
   b) النشاطيّة الإشعاعيّة لهذه العينة.

الحلّ:

a) عمر النصف للثوريوم ($^{228}_{90}Th$) :

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \frac{0.693}{1.15 \times 10^{-8}} = 6.02 \times 10^{7}\text{s}$$

b) النشاطيّة الإشعاعيّة لهذه العينة :

$$A_0 = \lambda N_0 = 1.15 \times 10^{-8} \times 2.53 \times 10^{21} = 2.9 \times 10^{13}\ \text{Bq}$$

6. **أحلل:** الفلور–18($^{18}_{9}F$) نظير مشع مُعَدّ صناعيًّا، عمر النصف له (110 min) ، يُستخدم في التصوير الطبّي حيث يضمحلّ ليعطي أحد نظائر الأكسجين وبوزيترون. أعدّت سارة عينة منه تحتوي على ($2.1 \times 10^{16} atoms$) لتصوير أحد المرضى.
   a) أكتب معادلة موزونة لاضمحلال الفلور.
   b) أحسب ثابت الاضمحلال له.
   c) ما عدد النوى المشعّة بعد مضي (220 min).

الحلّ:

a) المعادلة الموزونة لاضمحلال الفلور:

$$^{18}_{9}F \rightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{+1}e + \nu$$

نجد أن $A = 18$, $Z = 8$ والعنصر X هو نظير الأكسجين ($^{18}_{8}X$) .وتصبح المعادلة كما يلي:

$$^{18}_{9}F \rightarrow {}^{18}_{8}O + {}^{0}_{+1}e + \nu$$

b) ثابت الاضمحلال له :

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \rightarrow 110 = \frac{0.693}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{0.693}{110} = 6.3 \times 10^{-3}\text{min}$$

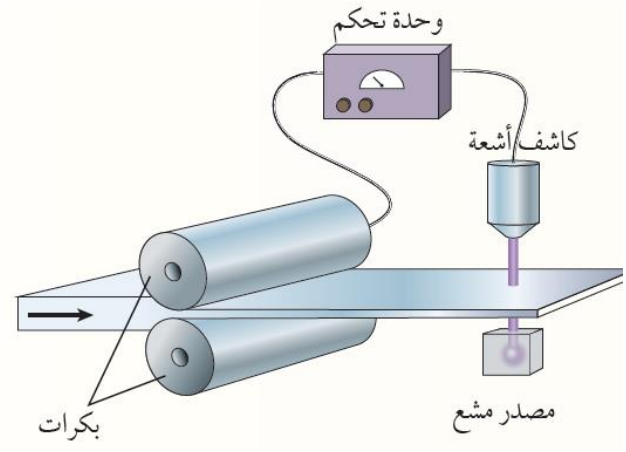
c) ما عدد النوى المشعّة بعد مضي (220 min).

بعد مضي 220 min يكون قد مضى على العينة زمن يساوي ضعفي عمر النصف، ما يعني أن عدد النوى المشعة سيقل للربع ويصبح:

$$\frac{2.1 \times 10^{16}}{4} = 5.25 \times 10^{15}\ \text{atom}$$

7. **أفسّر:** انبعاث جُسيمات بيتا السالبة من النواة بالرغم من عدم احتواء النواة على إلكترونات.
ينبعث جسيم بيتا السالبة من النواة نتيجة اضمحلال أحد نيوترونات النواة وتحوله إلى بروتون وجسيم بيتا السالبة و ضديد نيوترينو.

8. **التفكير الناقد:** تُستخدم الأشعّة النوويّة في التحكّم في سُمك الموادّ المصنَّعة على نحو ما هو مبيَّن في الشكل. حيث يوضع أسفل الشريط مصدر مشعّ، وتُستقبل الأشعة بعد نفاذها من الشريط عن طريق كاشف يُرسِل بدوره إشارة إلى جهاز التحكّم عن مقدار الأشعة التي وصلت إليه. فأيّ الأشعّة النوويّة أفضل في هذا الاستخدام؟ ولماذا؟



جسيمات بيتا هي الأنسب لهذا الاستخدام. فنفاذية جسيمات الفا صغيرة جداً، يمتصها الشريط ولا يصل أي منها للكاشف. أما نفاذية أشعة غاما فعالية وتفاعلها مع الوسط قليل وقد لا تؤثر التغيرات في سمك الشريط على شدة أشعة غاما التي تصل الكاشف.

الدرس الثالث : التفاعلات النوويّة Nuclear Reactions

التفاعل النوويّ Nuclear Reaction

تفاعلٌ نوويٌّ Nuclear reaction : يحدث عند اصطدام نواتي ذرتين، أو اصطدام جُسيم نووي مثل، البروتون أو النيوترون بنواة ذرة أخرى، وقد ينتج عن ذلك نواة جديدة أو أكثر.

ولإحداث تفاعل نووي بين جُسيم ونواة، تقذف النواة بذلك الجسيم وعندما يقترب منها مسافة كافية، يبدأ عندها تأثير القوة النوويّة. ويمكن التعبير عن التفاعل النووي بالصورة الآتية:

$$a + X \rightarrow b + Y$$

حيث يُسمّى :

a : الجسيم القذيفة (Projectile).

X : النواة الهدف (Target) .

b : الجُسيم الناتج من التفاعل النووي.

Y : النواة الناتجة.

يمكن حسب الطاقة الممتَصّة أو المتحرّرة من التفاعل (Q) من الفرق في الكتلة بين كتل النوى والجسيمات الداخلة في التفاعل وتلك الناتجة عنه، والتي تحسب باستخدام العلاقة الآتية:

$$Q = [m_a + m_X - (m_b + m_Y)] \times 931.5$$

حيث الكتل بوحدة (amu) و Q بوحدة (MeV).

إذا كانت قيمة (Q) موجبة يكون التفاعل **منتجًا للطاقة** Exoergic ، وإذا كانت قيمة (Q) سالبة يكون التفاعل **ماصًّا للطاقة** Endoergic.

في بعض التفاعلات النووية، تمتصّ النواة الهدف القذيفةَ لتشكّل **نواة مركّبة** والتي لا تلبث أن تضمحلّ لتعطي نوى وجسيمات من الممكن أن تختلف عن تلك الداخلة في التفاعل. ومن الأمثلة على ذلك، ما قام به رذرفورد عندما قذف نواة النيتروجين $(^{14}_{7}N)$ بجسيمات ألفا (α) ونتج عن ذلك تحرّر بروتون على النحو الآتي:

$$\alpha + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{18}_{9}F \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}P$$

ملاحظات على التفاعل السابق:

1. بدأ هذا التفاعل بنواة النيتروجين $(^{14}_{7}N)$ المستقرة مع جسيم ألفا (α) لتكوين نواة مركّبة وهي نظير الفلور $(^{18}_{9}F)$.
2. لا تلبث نواة الفلور حتى تضمحلّ لينتج عنها نواة مستقرة $(^{17}_{8}O)$ وبروتون $(^{1}_{1}P)$.

ماهي ميزة النيوترونات عن جسيمات الفا والبروتونات و كقذائف نووية؟

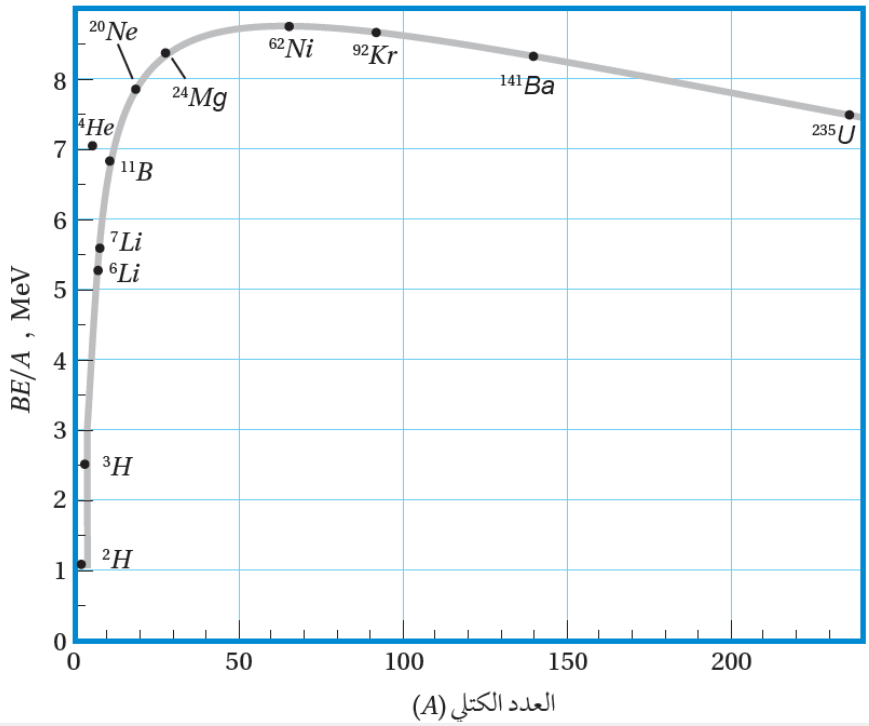
إنّ شحنة جسيمات ألفا والبروتونات موجبة، لذا تُسرَّع حتى تمتلك طاقة حركيّة كافية تُمكّنها من التغلب على قوة التنافر الكهربائية مع النواة الهدف. أمّا النيوترونات لكونها متعادلة كهربائيًّا، فلا تتأثر بقوة تنافر كهربائية؛ لذ ا تُعدّ من القذائف المهمّة في إنتاج النظائر المشعّة، التي تُستخدم في العديد من مجالات الحياة.

في التفاعلات النووية يتم تسريع القذيفة وتوجيهها نحو النواة الهدف. فما المجالات المستخدَمة في تسريع القذيفة وتوجيهها نحو النواة الهدف؟ وما دور كلٍّ منها؟

يستخدم المجال الكهربائي في تسريع القذائف المشحونة ويستخدم المجال المغناطيسي في توجيهها.

الانشطار النووي Nuclear Fission

الانشطار النووي: التفاعل الذي يتم فيه انقسام نواة ثقيلة لنواتين أو أكثر، أصغر منها في الكتلة.
في الشكل التالي طاقة الربط النووية لكل نيوكليون مع العدد الكتلي:



تغيّر طاقة الربط النووية لكل نيوكليون مع العدد الكتلي. اندماج نواتين خفيفتين أو انشطار نواة ثقيلة يحرّر طاقة؛ لأنّ النوى الناتجة ذات طاقة ربط نووية لكل نيوكليون أعلى.

ملاحظات على الشكل:

1. النوى الأكثر قابلية للانشطار هي النوى الثقيلة التي تقع على يمين المنحنى الموضَّح في الشكل.
2. عند قذف نواة $(^{235}_{92}U)$ بنيوترون بطيء تنشطر إلى نواتين، هما $(^{141}_{56}Ba)$ و $(^{92}_{36}Kr)$ وينتج 3 نيوترونات. ويمكن التعبير عن هذا الانشطار بالمعادلة النووية الآتية:

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{236}_{92}U^{*} \rightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3\ ^{1}_{0}n$$

حيث نواة $(^{236}_{92}U^{*})$ المثارة تمثل النواة المركّبة في هذا التفاعل.

3. تمتلك النوى الناتجة من هذا الانشطار طاقات ربط نووية لكل نيوكليون أكبر. ويصاحب ذلك نقص في الكتلة يتحوّل إلى طاقة. والجدول المجاور يوضح طاقة الربط النووية لكل نيوكليون.
4. تكمن أهميّة هذا التفاعل في الطاقة الكبيرة المتحرّرة منه، حيث إنّ انشطار كلّ نواة ينتج عنه طاقة تساوي (200 MeV) تقريبًا.
5. تنبعث نيوترونات نتيجة انشطار نواة نظير اليورانيوم $(^{235}_{92}U)$ وهذه النيوترونات قد تمتصّها نواة $(^{235}_{92}U)$ أخرى، وهذا ما يُسمّى **تفاعلاً متسلسلاً Chain reaction**

النواة	$\frac{BE}{A}$ (MeV)
$^{235}_{92}U$	7.5909
$^{141}_{56}Ba$	8.3261
$^{92}_{36}Kr$	8.5127

طاقة الربط النووية لكل نيوكليون

لماذا يحتاج البروتون إلى طاقة أكبر من النيوترون ليقترب من النواة ويحدث تفاعلاً نووياً؟

النيو ترون متعادل الشحنة بينما البروتون موجب الشحنة وسيتأثر بقوة تنافر كهربائي أثناء اقترابه من النواة؛ لذلك يحتاج لطاقة أكبر للتغلب على قوة التنافر الكهربائية.

التفاعل المتسلسلChain Reaction : تنبعث نيوترونات نتيجة انشطار النواة في تفاعل الانشطار النووي، وهذه النيوترونات قد تمتصّها نواة أخرى التي بدورها تنشطر، وتُنتج نيوترونات جديدة قد تمتصّها نوى أخرى.

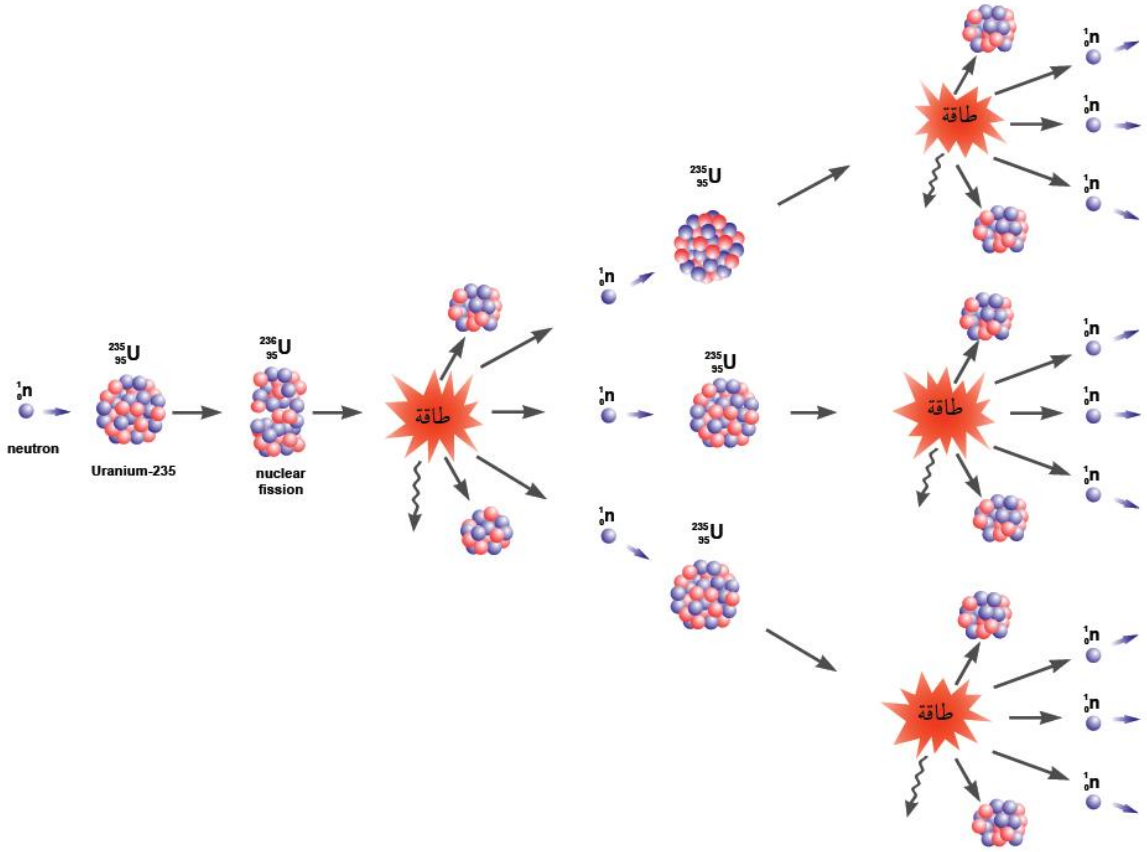
ما هي شروط حدوث التفاعل المتسلسل من الناحية العملية؟

1. توافر اليورانيوم المخصّب بزيادة نسبة النظير $(^{235}_{92}U)$ إلى نسبة اليورانيوم $(^{238}_{92}U)$. حيث يحتوي اليورانيوم الخام على (0.71 %) تقريبًا من اليورانيوم $(^{235}_{92}U)$ ونحو (99.27%) ونسبة قليلة جدًا من نظائر أخرى.
2. يجب توفير الحدّ الأدنى من الكتلة التي تضمن استمرار حدوث التفاعل، وتُسمّى الكتلة الحرجة.

التَّخصيب Enrichment :عمليّة يتم فيها زيادة نسبة نظير اليورانيوم $(^{235}_{92}U)$ إلى اليورانيوم $(^{238}_{92}U)$. ويسمى هذا النظيرالوقود النووي

الكتلة الحرجة Critical Mass : أقلّ كتلة من الوقود النووي تضمن استمرار حدوث التفاعل المتسلسل، وتضمن عدم تسرّب النيوترونات خارجه.

والشكل التالي يوضح حدوث التفاعل المتسلسل.



وضّح المقصود بتفاعل الانشطار النووي؟

انقسام نواة ثقيلة لنواتين أو أكثر أصغر منها في الكتلة والنوى الناتجة لها طاقات ربط نووية لكل نيوكليون أكبر من النواة المنشطرة.

مثال 14: كتاب

أحسب الطاقة Q الناتجة من تفاعل الانشطار الآتي:

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{236}_{92}U^{*} \rightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3\ ^{1}_{0}n$$

حيث كتل النوى مُعطاة في الجدول الآتي بوحدة (amu) .

$^{235}_{92}U$	$^{141}_{56}Ba$	$^{92}_{36}Kr$	$^{1}_{0}n$
234.9934	140.8840	91.9064	1.0087

المُعطيات : الكتل في الجدول

المطلوب : Q = ?

الحل:

$$a + X \rightarrow b + Y$$

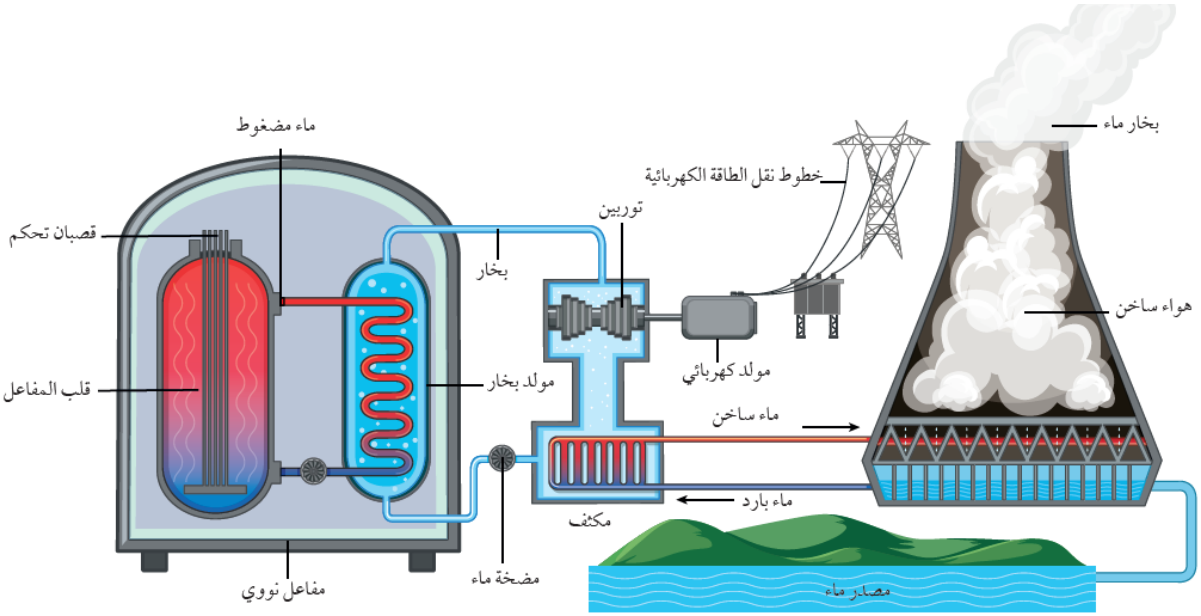
$$Q = [m_a + m_X - (m_b + m_Y)] \times 931.5$$
$$= (1.0087 + 234.9934 - (140.8840 + 91.9064 + 3 \times 1.0087)) \times 931.5$$
$$= 0.1856 \times 931.5 = 172.9 \text{ MeV}$$

المفاعل النوويّ Nuclear Reactors

المفاعل النوويّ: هو النظام الذي يهيّئ الظروف المناسبة لاستمرار حدوث التفاعل المتسلسل والسيطرة عليه.

مفاعل الماء المضغوط Pressurized water reactor: المفاعل النووي الذي يَستخدم الماء في عملية التبريد.

ما هي الأجزاء الرئيسية التي يتكون منها المفاعل النووي؟



رسم تخطيطي لمحطّة طاقة نوويّة تستخدم مفاعل الماء المضغوط.

ويتكوّن المفاعل النووي الموضَّح في الشكل السابق من الأجزاء الأساسية الآتية:

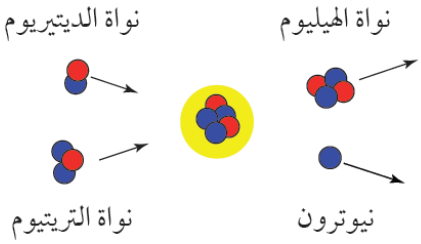
1. **الوقود النوويّ : Nuclear fuel** تكون مادّة الوقود النوويّ على الغالب من اليورانيوم المخصّب، حيث تُعَدّ على شكل أقراص يوضع بعضها فوق بعض في أنابيب طويلة لتشكيل قضبان الوقود النووي.
2. **قضبان التحكّم : Control roads** تُصنع من موادّ لديها مقدرة عالية على امتصاص النيوترونات مثل، الكادميوم –113والبورون –10فعند إدخال عدد مناسب منها بين حزم الوقود النووي تمتص بعضًا من النيوترونات ما يؤدي إلى إبطاء التفاعل المتسلسل، وبذلك يتم التحكم في الطاقة الناتجة من المفاعل.
3. **الموادّ المُهدّئة : Moderators** وهي موادّ ذات أعداد كتلية صغيرة، مثل :الماء الثقيل، والماء العادي، والغرافيت. وتبطّئ الموادّ المهدّئة النيوترونات الناتجة من الانشطار؛ لتتمكّن من إحداث تفاعلات انشطارية جديدة. علمًا أنّ احتماليّة انشطار نواة اليورانيوم $^{235}_{92}U$ تزداد كلما كانت الطاقة الحركية للنيوترونات الممتصَّة أقل.
4. **نظام التبريد : Cooling system** تُستخدم أبراج تبريد تُزوِّد المفاعل والمكثّف بالماء البارد باستمرار؛ لتبريد المفاعل النووي.
5. **مولّد بخار الماء : Steam generator** يُحوِّل الماءَ الساخن والمضغوط القادم من قلب المفاعل إلى بخار ماء يُستخدم في إدارة توربينات متّصلة بمولّدات كهربائية لتوليد الطاقة الكهربائيّة.

الاندماج النوويّ Nuclear Fusion

الاندماج النوويّ: التفاعل الذي تندمج فيه نواتان خفيفتان لتكوين نواة كتلتها أقلّ من مجموع كتلتي النواتين المندمجتين، ولها طاقة ربط نووية لكل نيوكليون أكبر ممّا لهما.

من الأمثلة على الاندماج النووي اندماج نواتا نظيري الهيدروجين؛ الديتيريوم (^2_1H) مع التريتيوم (^3_1H) لتكوين نواة الهيليوم (^4_2He) ونيوترون، كما في المعادلة التالية :

$$^2_1H + {}^3_1H \rightarrow {}^4_2He + {}^1_0n$$



اندماج نواتي الديتيريوم والتريتيوم لتشكيل نواة الهيليوم.

النواة	$\frac{BE}{A}$ (MeV)
^2_1H	1.11
^3_1H	2.83
^4_2He	7.07

طاقة الربط النوويّة لكل نيوكليون.

ويلاحظ من الجدول أن اندماج نواتا نظيري الهيدروجين؛ الديتيريوم (^2_1H) مع التريتيوم (^3_1H) لتكوين نواة الهيليوم (^4_2He) ، ذات طاقة ربط نووية لكل نيوكليون أكبر منها لنواتي الديتيريوم والتريتيوم. ويصاحب عملية الاندماج نقص في الكتلة ينتج عنه تحرّر طاقة كبيرة.

مثل هذه التفاعلات النوويّة هي مصدر الطاقة التي تصلنا من الشمس، وتحتاج إلى درجات حرارة عالية جدًّا حتى تحدث؛ لذا تُسمّى هذه التفاعلات **بالتفاعلات النوويّة الحراريّة.**

ومن الأمثلة الأخرى على تفاعلات الاندماج النووي :

$$^1_1H + {}^1_1H \rightarrow {}^2_1H + {}^0_{+1}e + \nu$$

$$^1_1H + {}^2_1H \rightarrow {}^3_2He + \gamma$$

ما فائدة الحرارة العالية اللازمة لحدوث تفاعلات الاندماج النووي ؟
إنّ درجة الحرارة العالية تزوّد النواتين بطاقة حركيّة كبيرة كافية للتغلّب على قوة التنافر الكهربائيّة بين النواتين عند اقترابهما من بعض لمسافة تبدأ عندها القوة النوويّة بالتأثير.

ما هي ميزة تفاعلات الاندماج النووي عن تفاعلات الانشطار النووي.
في تفاعلات الاندماج النووي نحصل على الطاقة دون إنتاج نوى مشعّة على نحو ما يحدث في مفاعلات لانشطار النووي.

مثال 15: كتاب

أحسب الطاقة Q الناتجة من تفاعل الاندماج النووي الآتي:

$$_1^1H + _1^2H \rightarrow _2^3He + \gamma$$

حيث كتل النوى مُعطاة في الجدول الآتي بوحدة (amu) .

$_2^3He$	$_1^2H$	$_1^1H$
3.0149	2.0136	1.0073

المُعطيات : الكتل في الجدول
المطلوب : Q = ?
الحل:

$$a + X \rightarrow b + Y$$

$$Q = [m_a + m_X - (m_b + m_Y)] \times 931.5$$
$$= (1.0073 + 2.0136 - (3.0149)) \times 931.5$$
$$= 0.006 \times 931.5 = 5.6 \text{ MeV}$$

تطبيقات على الفيزياء النووية Applications of Nuclear Physics

للفيزياء النووية تطبيقات عدّة في مختلف نواحي الحياة منها:

1. التعقُّب Tracing

تتكونُ المُتعقّبات من نظائر مشعّة تُحقن في الجسم للكشف عن خلل وظيفي في أحد أعضائه. فمثلا يُستخدم اليود - 131 المشع للكشف عن خلل في عمل الغدة الدرقية، حيث يشربُ المريضُ كمية قليلة من محلول يوديد الصوديوم المشع، ويتم تشخيص الخلل في عمل الغدة الدرقية بمعرفة كمية اليود المشع المتبقية فيها مع مرور الزمن. ومن التطبيقات الطبّية الأخرى حقن وريد في القدم بسائل يحتوي على الصوديوم المشع، وقياس الزمن اللازم حتى يصل السائل المشع إلى عضو معين في الجسم، وذلك باستخدام جهاز للكشف عن الإشعاع. والزمن المقاس يُمكّن من معرفة ما إذا كان هناك تضيُّق أو انسداد في الأوردة أو الشرايين. وفي التطبيقات الطبية يتم تعريض المريض لجرعات إشعاعية متدنيّة ومحسوبة بدقة بحيث لا تؤثر سلبًا فيه.

2. العلاج بالإشعاع Radiation Therapy

تنقسم الخلايا السرطانية بسرعة كبيرة، والإشعاعات الناتجة عن النظائر المشعة فعالة في قتل هذا النوع من الخلايا. فمثلا يستخدم نظير اليود – 131 المشع في علاج سرطان الغدة الدرقية، كما يستخدم الكوبالت- 60 في علاج سرطان الحنجرة.

3. تحليل المواد Materials Analysis

يمكنُ تحديدُ العناصر التي تُكوّن عينة معينة بطرق كيميائية، وهذا عادة يتطلب استخدام كمية كبيرة نسبيًّا من تلك العينة. يمكن التغلب على ذلك بقذف كمية قليلة من العينة المراد معرفة تركيبها بالنيوترونات، ما يؤدي إلى تحول العناصر التي امتصت النيوترونات إلى عناصر مشعة، ويتم تحديد هوية تلك العناصر بالكشف عن نوع الإشعاعات الصادرة عن العينة المشعّة وقياس طاقتها.

4. حفظ المواد الغذائية Food Preserving

تطبيقات الفيزياء النووية في مجال الأطعمة تشهد اهتمامًا متزايدًا لقدرة الإشعاعات النووية على تعطيل عمل البكتيريا و قتلها. لذلك يتم تعريض المواد الغذائية المراد تخزينها فترات طويلة لأشعة غاما أو حزم من الإلكترونات ذات طاقة مرتفعة لقتل البكتيريا، ومن ثمّ تُحفظ في عبوات مغلقة لمنع وصول بكتيريا جديدة إليها.

الإثراء والتوسّع: المفاعل النوويّ الاندماجي

تُعدّ كميّة الطاقة الكبيرة المتولّدة من الاندماج النووي محفِّزًا أمام العلماء لتسخير هذه الطاقة لأغراض مفيدة، ويُبذل كثير من الجهود حاليًّا لتطوير مفاعل نووي اندماجي مستدام يمكن التحكّم فيه. ومن مزاياه: توافر الوقود الديتيريوم $(_1^2H)$ والتريتيوم $(_1^3H)$ ، وإنتاج طاقة كبيرة مقارنة بتفاعلات الانشطار النووي، وتكوين عدد قليل نسبيًّا من المنتجات الثانوية المشعّة مقارنة بمفاعلات الانشطار النووي. فوقود اليورانيوم بعد انشطاره يحتوي على نسبة عالية من الموادّ المشعّة التي يجب التخلص منها، وتتطلّب إجراءات صارمة عند نقل اليورانيوم المخصّب لا تلزم عند نقل الوقود المستخدم في الاندماج النووي.

وتُنتِج النجوم طاقتها من تفاعلات الاندماج النووي بدورة تُسمّى دورة البروتون– بروتون، وتَحدث هذه التفاعلات عند درجة حرارة عالية جدًّا وكثافة عالية جدًّا للبروتونات. لكن تفاعل بروتون– بروتون لا يمكن تحقيقه في مفاعل اندماج لعدم القدرة على توفير الظروف المناسبة له، وتُجرى حاليًّا أبحاث لتحقيق ذلك من خلال التفاعلات اندماج أخرى، ووُجِد أنّ التفاعل الأنسب للاستخدام في مفاعلات الاندماج، هو تفاعل الديتيريوم $(_1^2H)$ و التريتيوم $(_1^3H)$.

$$_1^2H + {}_1^3H \rightarrow {}_2^4He + {}_0^1n \quad , \quad Q = 17.6\ MeV$$

ويتوافر الديتيريوم بكميات كبيرة في البحيرات والمحيطات وهو غير مكلف. أمّا التريتيوم، فإنّه مشعّ عمر النصف له $(t_{1/2} = 12.3\ y)$ حيث يخضع لاضمحلال بيتا السالبة لينتج $(_2^3He)$ ولهذا السبب لا يوجد التريتيوم طبيعيًّا بكميات كبيرة، ويجب إنتاجه صناعيًّا.

تتمثّل إحدى المشكلات الرئيسة في الحصول على الطاقة من الاندماج النووي في توافر درجات الحرارة العالية نحو (10^8K) اللازمة لحدوث التفاعل. وعند درجات الحرارة العالية هذه، تتأيّن الذرّات ويتكوّن النظام من مجموعة من الإلكترونات والنوى يُسمّى بلازما. وبالإضافة إلى درجات الحرارة العالية، يجب التأثير بضغط كبير للحصول على كثافة عالية من الأيونات. وقد استطاع العلماء تحقيق تفاعل اندماج الديتيريوم$(_1^2H)$ و التريتيوم $(_1^3H)$ مدّة زمنية قصيرة جدًّا باستخدام مفاعل اندماجي، يُعرف باسم توكاماك (tokamak) حيث تُحفظ البلازما داخل مجال مغناطيسي على نحو ما تعلّمت في الوحدة الرابعة.

ما هي متطلبات تفاعل الاندماج النووي .

1. وجود نواتين خفيفتين مثل الديتيريوم $(_1^2H)$ والتريتيوم $(_1^3H)$.
2. توافر درجات الحرارة العالية وعند درجات الحرارة العالية هذه، تتأيّن الذرّات ويتكوّن النظام من مجموعة من الإلكترونات والنوى يُسمّى بلازما.
3. التأثير بضغط كبير للحصول على كثافة عالية من الأيونات.
4. مجال مغناطيسي لحفظ البلازما.

أسئلة مراجعة الدرس الثالث

1. **الفكرة الرئيسة:** أوضّح المقصود بتفاعل الانشطار النوويّ وتفاعل الاندماج النوويّ.

الانشطار النووي: انقسام نواة ثقيلة لنواتين أو أكثر أصغر منها في الكتلة، لكل منهما طاقة ربط نووية لكل نيوكليون أكبر من النواة الأم.
الاندماج النووي: اندماج نواتين خفيفتين لتكوين نواة أثقل من كل منهما لها طاقة ربط نووية لكل نيو كليون أكبر من تلك لأي من النواتين.

2. للتفاعلين النوويين الآتيين، أجيب عمّا يأتي:

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$$
$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{144}_{56}Ba + ^{89}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n$$

علمًا أنّ كتل النوى بوحدة (amu) موضّحة في الجدول الآتي:

$^{235}_{92}U$	$^{144}_{56}Ba$	$^{89}_{36}Kr$	$^{1}_{0}n$	$^{4}_{2}He$	$^{3}_{1}H$	$^{2}_{1}H$
234.9934	143.8922	88.8979	1.0087	4.0015	3.0155	2.0136

a) أيّ التفاعلين تفاعل اندماج نووي؟ وأيّهما تفاعل انشطار نووي؟
b) **أتوقّع:** لكلا التفاعلين، أيهما يمتلك طاقة ربط نوويّة لكل نيوكليون أكبر: الموادّ الناتجة من التفاعل أم الموادّ الداخلة فيه؟
c) **أستخدم المتغيّرات:** أحسب الطاقة الناتجة من التفاعل لكلا التفاعلين.
d) **أستخدم المتغيّرات:** أحسب الطاقة الناتجة لكل نيوكليون لكلا التفاعلين. أيّهما أكبر؟
e) **أتوقّع:** أيّ التفاعلين يُنتِج طاقة أكبر للكتلة نفسها من الموادّ الداخلة في التفاعل؟

الحل:

a) التفاعل الأول يمثل تفاعل اندماج نووي والثاني يمثل تفاعل انشطار نووي.
b) المواد الناتجة تمتلك طاقة ربط نووية لكل نيوكليون أكبر لكلا التفاعلين.
c) الطاقة الناتجة من التفاعل لكلا التفاعلين:

لتفاعل الاندماج:

$$a + X \rightarrow b + Y$$
$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$$

$$Q = [m_a + m_X - (m_b + m_Y)] \times 931.5$$
$$= (2.0136 + 3.0155 - (4.0015 + 1.0087)) \times 931.5$$
$$= 0.0189 \times 931.5 = 17.6 \text{ MeV}$$

لتفاعل الانشطار:

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{144}_{56}Ba + ^{89}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n$$

$$Q = [m_a + m_X - (m_b + m_Y)] \times 931.5$$
$$= (1.0087 + 234.9934 - (143.8922 + 88.8979 + 3 \times 1.0087)) \times 931.5$$
$$= 0.1859 \times 931.5 = 173.2 \text{ MeV}$$

d) الطاقة الناتجة لكل نيوكليون لكلا التفاعلين:

$$\frac{BE}{A}_{(\text{اندماج})} = \frac{17.6}{4+1} = 3.52\ Mev/neucleon$$

$$\frac{BE}{A}_{(\text{انشطار})} = \frac{173.2}{144+89+3} = 0.73\ \ Mev/neucleon$$

طاقة الربط النووية لكل نيوكليون لتفاعل الانشطار أقل منها لتفاعل الاندماج.

e) تفاعل الاندماج ينتج طاقة أكبر لنفس الكتلة من المواد الداخلة في التفاعل .

3. **أُقارن:** أعدّد أوجه التشابه وأوجه الاختلاف بين تفاعل الاندماج وتفاعل الانشطار.

	الاندماج	الانشطار
التفاعل	اندماج نواتين خفيفتين	انشطار نواة ثقيلة
الوقود المستخدم	نوى خفيفة مثل نظائر الهيدروجين	نوى ثقيلة مثل اليورانيوم-235
توفر الوقود وتكلفته	متوفر ورخيص	غير متوفر بشكل كبير ومكلف
الطاقة الناتجة لكل نيوكليون	كبيرة بحدود (3.5 -7 MeV)	صغيرة بحدود(0.7 MeV)
شروط حدوثه	1.درجة حرارة عالية . 2. ضغط كبير جد اً	1.ضرب النواة بنيوترون بطيء. 2.توافر الحد الأدنى من كتلة الوقود النووي.

4. **أفسّر:** ما أهميّة استخدام كلٍّ ممّا يأتي في المفاعل النووي؟

a) القضبان التي تحتوي على الكادميوم.

القضبان التي تحتوي على الكادميوم: امتصاص نيوترونات للتحكم في سرعة التفاعل.

b) مُهدِّئات النيوترونات.

مهدئات النيوترونات: امتصاص جزء من طاقة النيوترونات لتصل للطاقة المناسبة لحدوث الانشطار النووي.

5. **أفسّر** أهميّة درجة الحرارة العالية للتفاعل النووي الاندماجي.

لتزويد النواتين بطاقة حركية كبيرة كافية للتغلّب على قوة التنافر الكهربائية بين النواتين عند اقترابهما من بعضهما لمسافة تبدأ عندها القوة النووية بالتأثير.

6. **أفسّر:** هل يصلح اليورانيوم الخام للاستخدام في المفاعلات النوويّة؟ أفسّر إجابتي.

لا يصلح اليورانيوم الخام في المفاعل النووي لأن نسبة اليورانيوم المستخدم في تفاعل الانشطار تكون فيه قليلة جدا (0.7 %) .

7. **التفكير الناقد:** لماذا يُعدّ استخدام تفاعلات الاندماج النووي، إن أمكن في توليد الطاقة، أقلّ خطرًا على البيئة من استخدام تفاعلات الانشطار النووي؟

لأن نواتج تفاعل الاندماج النووي غير مشعة ولا تشكل خطورة إشعاعية على البيئة.

أسئلة مراجعة الوحدة

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة ممّا يأتي:

1. النيوترينو جُسيم يَنتج عن عمليّة:
   a) تحلّل البروتون إلى نيوترون وبوزيترون.
   b) تحلّل النيوترون إلى بروتون وإلكترون.
   c) اضمحلال غاما.
   d) خروج جُسيم ألفا من النواة.

2. النواة غير المستقرة تتحوّل تلقائيًّا إلى نواة ذات كتلة:
   a) أقلّ وطاقة ربط أعلى لكل نيوكليون.
   b) أكبر وطاقة ربط أقلّ لكل نيوكليون.
   c) أكبر وطاقة ربط أعلى لكل نيوكليون.
   d) أقلّ وطاقة ربط أقلّ لكل نيوكليون.

3. $^{A}_{Z}X$ نواة نظير عنصر غير مستقرّة، تقع ضمن سلسلة اضمحلال. بعد سلسلة من التحولات أُطلِقت أربع جُسيمات بيتا السالبة وجُسيم ألفا واحدًا، فإنّ النواة الناتجة تكون:
   a) $^{A-4}_{Z+2}Y$ b) $^{A-2}_{Z-4}Y$ c) $^{A+2}_{Z+4}Y$ d) $^{A+4}_{Z-2}Y$

4. عدد جُسيمات ألفا وبيتا السالبة المنبعِثة من سلسلة تحوّلات تضمحلّ خلالها نواة ($^{238}_{92}U$) الى نواة ($^{226}_{88}X$)على الترتيب هي:
   a) 2 ألفا ، 3 بيتا b) 3 ألفا ، 4 بيتا c) 2 ألفا ، 2 بيتا d) 3 ألفا ، 2 بيتا

5. عدد النيوترونات في النوى المستقرّة الثقيلة يكون:
   a) مساويًا لعدد البروتونات b) أقلّ من عدد البروتونات
   c) أقلّ بكثير من عدد البروتونات d) أكبر من عدد البروتونات

6. طاقة الربط النووية هي الطاقة اللازمة لِ:
   a) فصل مكوّنات النواة لتكون بعيدة بعضها عن بعض.
   b) فصل الإلكترونات عن النواة.
   c) فصل بروتون واحد عن النواة.
   d) فصل نيوترون واحد عن النواة.

7. إنّ حجم النواة يتناسب:
   a) طرديًّا مع عددها الكتلي. b) عكسيًّا مع عددها الكتلي.
   c) طرديًّا مع مكعب عددها الكتلي. d) طرديًّا مع الجذر التكعيبي لعددها الكتلي.

8. تهدف عملية تخصيب اليورانيوم إلى إنتاج وقود نووي يحتوي على نسبة عالية من:
   a) $^{238}_{92}U$ b) $^{234}_{92}U$ c) $^{232}_{92}U$ d) $^{235}_{92}U$

9. نسبة نصف قطر النواة ($^{27}_{13}Al$) إلى نصف قطر النواة ($^{64}_{29}Cu$) تساوي:
   a) $\frac{3}{4}$ b) $\frac{27}{64}$ c) $\frac{8}{3}$ d) $\frac{64}{27}$

10. حجم النواة ($^{27}_{13}Al$) إلى حجم النواة ($^{64}_{29}Cu$) تساوي:
a) $\frac{3}{8}$ b) $\frac{27}{64}$ c) $\frac{8}{3}$ d) $\frac{64}{27}$

11. تُبطَّأ النيوترونات في المفاعل النووي بـِ:
a) الماء الثقيل b) الكادميوم c) اليورانيوم d) الهيدروجين

12. إذا كانت كتلة نواة نظير الليثيوم ($^{7}_{3}Li$) تَقلّ بمقدار (0.0042 amu) عن مجموع كتل مكوّناتها، فإنّ متوسط طاقة الربط النووية لكل نيوكليون بوحدة (MeV) لها تساوي:
a) 3.91 b) 0.559 c) 0.014 d) 7.12

الإجابات :

12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
b	a	b	a	d	a	a	d	d	a	a	a

2. أستخدم المتغيّرات: عينة من البولونيوم ($^{210}_{84}Po$) تحتوي على (2.8×10^{18} atoms) ، وثابت الاضمحلال للبولونيوم ($^{210}_{84}Po$) يساوي ($5.8 \times 10^{-8}\ s^{-1}$) ، جد :
a) عمر النصف للبولونيوم ($^{210}_{84}Po$).
b) النشاطيّة الإشعاعيّة.
c) عدد النوى المتبقيّة من البولونيوم ($^{210}_{84}Po$) بعد مرور مدة زمنية مقدارها أربعة أمثال عمر النصف.

الحلّ:

a) عمر النصف للبولونيوم ($^{210}_{84}Po$) :

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{5.8 \times 10^{-8}} = 1.19{\times}10^{7}\text{s}$$

b) النشاطيّة الإشعاعيّة:

$$A_0 = N_0\,\lambda = 2.8 \times 10^{18}{\times}5.8 \times 10^{-8} = 1.62{\times}10^{11}\ \text{Bq}$$

c) بعد مرور مدة زمنية مقدارها أربعة أمثال عمر النصف:

$$N_{(4t_{1/2})} = N_0(\tfrac{1}{2}\times\tfrac{1}{2}\times\tfrac{1}{2}\times\tfrac{1}{2}) = N_0\,(\tfrac{1}{16}) = \frac{2.8 \times 10^{18}}{16} = 1.75 \times 10^{17}\ \text{atoms}$$

or

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \quad , \quad \frac{t}{t_{1/2}} = \frac{4t_{1/2}}{t_{1/2}} = 4$$

$$\frac{N}{2.8 \times 10^{18}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{4} = \frac{1}{16}$$

$$N = \frac{2.8 \times 10^{18}}{16} = 1.75 \times 10^{17}\ \text{atoms}$$

3. **أستخدم المتغيّرات:** عينة من الأمريسيوم ($^{210}_{84}Am$) تحتوي على (1.25×10^{15} atoms) ونشاطيّتها الإشعاعيّة ($1.70\ \mu Ci$) أجد ثابت الاضمحلال للأمريسيوم ($^{210}_{84}Am$) .

الحلّ:

نحول من (μCi) إلى (Bq) :

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

$1.70\ \mu Ci = 1.70 \times 10^{-6} \times 3.7 \times 10^{10} = 6.3 \times 10^{4}\ Bq$

$A_0 = N_0\ \lambda$

$6.3 \times 10^{4} = 1.25 \times 10^{15} \times \lambda$

$$\rightarrow \lambda = \frac{6.3 \times 10^{4}}{1.25 \times 10^{15}} = 5.04 \times 10^{-11} s^{-1}$$

4. **أستخدم المتغيّرات:** يمثّل الشكل المجاور عينة من الكوبالت($^{60}_{27}Co$) تُستخدم في المختبرات لدراسة طبيعة إشعاع غاما، بالاستعانة بالمعلومات المثبّتة على الشكل، جد:
   a) عمر النصف.
   b) النشاطيّة الإشعاعيّة للعينة.
   c) تاريخ تصنيع العينة.
   d) النشاطيّة الإشعاعيّة في(JUL 2019) ، أيْ بعد مرور زمن يساوي ضعفي عمر النصف.

الحلّ:

a) عمر النصف :

$t_{1/2}$ (من الشكل) = 5.27 years

b) النشاطيّة الإشعاعيّة للعينة :

A_0(من الشكل) = $1\ \mu Ci$

c) تاريخ تصنيع العينة :
من الشكل، نلاحظ أن تاريخ تصنيع العينة هو: APR 2009 (4/ 2009)

d) النشاطيّة الإشعاعيّة في(JUL 2019) ، أيْ بعد مرور زمن يساوي ضعفي عمر النصف :

$$A_{(2t_{1/2})} = A_0(\tfrac{1}{2} \times \tfrac{1}{2}) = N_0\ (\tfrac{1}{4}) = \frac{1}{4} = 0.25\ \mu Ci$$

5. أستخدم المتغيّرات: أحسب الطاقة اللازمة لفصل نواة النيكل ($^{60}_{28}Ni$) إلى مكوّناتها، علمًا بأن كتلة نواة النيكل ($^{60}_{28}Ni$) تساوي ($59.91541\ amu$) .

الحلّ:

$$BE(Ni) = (Z\,m_p + N\,m_n - M) \times 931.5$$
$$= (28 \times 1.00728 + 32 \times 1.00867 - 59.91541) \times 931.5$$
$$= 0.56587 \times 931.5 \approx 527.1 \text{ MeV}$$

6. إذا كانت طاقة الربط النووية لنواة ($^{23}_{11}Na$) تساوي (186.66 MeV) ، ولنواة ($^{23}_{12}Mg$) تساوي (181.82 MeV)،

a) **أستخدم المتغيرات:** أحسب طاقة الربط النوويّة لكل نيوكليون للنواتين.

b) **أصدر حكمًا:** أيّ النواتين أكثر استقرارًا؟ أفسّر إجابتي.

الحلّ:

a) طاقة الربط النوويّة لكل نيوكليون للنواتين :

$$\frac{BE}{A}\left(^{23}_{11}Na\right) = \frac{186.66}{23} \approx 8.12 \text{ MeV}$$

$$\frac{BE}{A}\left(^{23}_{12}Mg\right) = \frac{181.82}{23} \approx 7.91 \text{ MeV}$$

b) أيّ النواتين أكثر استقرارًا :

بما أن طاقة الربط لكل نيوكليون لنواة ($^{23}_{11}Na$) أكبر منها لنواة ($^{23}_{12}Mg$)؛ فإن نواة ($^{23}_{11}Na$) أكثر استقرارًا.

7. أُكمل المعادلات النوويّة الآتية:

$^{239}_{92}U \rightarrow {}^{239}_{93}Np + .. {}^{0}_{-1}e .. + .. \bar{\upsilon} ..$

$^{10}_{5}Ba \rightarrow {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{7}_{3}Li + .. {}^{4}_{2}He ..$

$^{242}_{96}Cm + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{245}_{98}Cf + .. {}^{1}_{0}n ..$

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

${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + .. {}^{0}_{-1}e .. + .. \bar{\upsilon} ..$

${}^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + .. {}^{0}_{-1}e .. + .. \boldsymbol{\nu} ..$

8. أكمل الجدول الآتي:

نوع الإشعاع / وجه المقارنة	الفا	بيتا	غاما
طبيعة الإشعاع	جسيمات (نوى الهيليوم)	جسيمات إلكترونات أو بوزيترونات	فوتونات (أشعة كهرمغناطيسية)
نوع الشحنة	موجبة	سالبة أو موجبة	ليس لها شحنة
الكتلة	كتلة نواة الهيليوم	كتلة الإلكترون	ليس لها كتلة
القدرة على النفاذ	قليلة	متوسطة نسبياً	عالية
القدرة على التأيين	عالية	متوسطة نسبياً	قليلة

9. **أستخدم المتغيّرات:** قذفت نواة $({}^{9}_{4}Be)$ بجُسيم ألفا، وفقًا للتفاعل النووي الآتي:

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

فإذا علمت أنّ كتل النوى الداخلة في التفاعل تزيد بمقدار ($0.00612\ amu$) على كتل الموادّ الناتجة عن التفاعل.واعتمادًا على كتل النوى والجُسيمات في الجدول الآتي أجيب عمّا يأتي:

النواة أو الجُسيم	${}^{12}_{6}C$	${}^{4}_{2}He$	${}^{1}_{1}p$	${}^{1}_{0}n$
الكتلة (amu)	11.9967	4.0015	1.0073	1.0087

a) هل التفاعل النووي منتِج للطاقة أم ماصّ لها؟

b) أحسب كتلة نواة $({}^{9}_{4}Be)$.

c) أحسب طاقة الربط النووية لكل نيوكليون لنواة $({}^{12}_{6}C)$ ، بوحدة (MeV).

الحلّ:

a) طبيعة التفاعل النووي منتِج للطاقة أم ماصّ لها:

بما أن فرق الكتلة موجب فإن التفاعل منتج للطاقة.

b) كتلة نواة $({}^{9}_{4}Be)$:

$$a + X \rightarrow b + Y$$

$$\Delta m = [m_a + m_X - (m_b + m_Y)]$$

$$0.00612 = (4.0015 + m_{{}^{9}_{4}Be} - (1.0087 + 11.9967))$$

$$13.01152 = 4.0015 + m_{{}^{9}_{4}Be}$$

$$m_{{}^{9}_{4}Be} = 9.01\ amu$$

c) طاقة الربط النووية لكل نيوكليون لنواة $({}^{12}_{6}C)$ ، بوحدة (MeV) :

$$BE({}^{12}_{6}C) = (Z\,m_p + N\,m_n - M) \times 931.5$$

$$= (6 \times 1.0073 + 6 \times 1.0087 - 11.9967) \times 931.5$$

$$= 0.0993 \times 931.5 \approx 92.5\ MeV$$

$$\frac{BE}{A}({}^{12}_{6}C) = \frac{92.5}{12} = 7.71\ MeV$$

10. أستخدم المتغيّرات: في التفاعل النووي الآتي:

$$^{1}_{0}n + {}^{10}_{5}B \rightarrow {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He$$

أحسب الطاقة الناتجة عن التفاعل بوحدة الإلكترون فولت. علمًا أنّ كتل الجُسيمات والنوى مُبيَّنة في الجدول الآتي:

النواة أو الجُسيم	$^{7}_{3}Li$	$^{4}_{2}He$	$^{10}_{5}B$	$^{1}_{0}n$
الكتلة (amu)	7.0144	4.0015	10.0103	1.0087

الحلّ:

$$Q = [m_a + m_X - (m_b + m_Y)] \times 931.5$$
$$= (1.0087 + 10.0103 - (4.0015 + 7.0144)) \times 931.5$$
$$= 0.0031 \times 931.5 = 2.888 \text{ MeV}$$

11. أقارن بين تفاعل الاندماج النووي وتفاعل الانشطار النووي من حيث:

a) مجموع كتل النوى الناتجة من التفاعل مقارنة بمجموع كتل النوى الداخلة فيه.

b) مجموع طاقة الربط النووية للنوى الناتجة من التفاعل مقارنة بمجموع طاقة الربط النوويّة للنوى الداخلة فيه.

c) الفرق في طاقة الربط النوويّة لكل نيوكليون بين النوى الداخلة في التفاعل والنوى الناتجة من التفاعل.

الحلّ:

a) في كلا التفاعلين يكون مجموع كتل النوى الناتجة من التفاعل أقل من مجموع كتل النوى الداخلة في التفاعل

b) في كل من التفاعلين تكون طاقة الربط النووية للنوى الناتجة أكبر من طاقة الربط النووية للنوى الداخلة في التفاعل.

c) في كل من التفاعلين التغير في طاقة الربط النووية لكل نيوكليون موجبا.

12. أستخدم المتغيّرات: إذا كانت طاقة الربط النوويّة لكل نيوكليون لنواة الفوسفور $(^{30}_{15}P)$ تساوي (8.35 MeV)، أجد ما يأتي:

a) طاقة الربط النوويّة لنواة الفسفور $(^{30}_{15}P)$.

b) كتلة نواة الفسفور $(^{30}_{15}P)$.

الحلّ:

a) طاقة الربط النوويّة لنواة الفسفور $(^{30}_{15}P)$:

$$\frac{BE}{A}(^{12}_{6}C) = 8.35$$

$$\frac{BE}{30}(^{12}_{6}C) = 8.35 \rightarrow BE(^{12}_{6}C) = 30 \times 8.35 = 250.5 \text{ MeV}$$

b) كتلة نواة الفسفور $(^{30}_{15}P)$:

$$BE = \Delta m \times 931.5$$

$$250.5 = \Delta m \times 931.5 \rightarrow \Delta m = \frac{250.5}{931.5} = 0.2689 \ amu$$

$$\Delta m = (Z\, m_p + N\, m_n - M)$$
$$0.2689 = 15 \times 1.0073 + 15 \times 1.0087 - M$$
$$M = 29.98 \ amu$$

13. أستخدم المتغيّرات: إذا كان الفرق بين كتلة نواة ومجموع كتل مكوّناتها يساوي$(1.64 \times 10^{-28}\text{kg})$ ، أجد طاقة الربط النوويّة للنواة بوحدة جول.

الحلّ:

$$BE = \Delta m \times c^2$$
$$= 1.64 \times 10^{-28} \times (3 \times 10^8)^2 = 1.48 \times 10^{-11}\ \text{J}$$

14. أحلّل: يمثّل الرسم البياني المبيَّن في الشكل منحنى الاستقرار النوويّ.

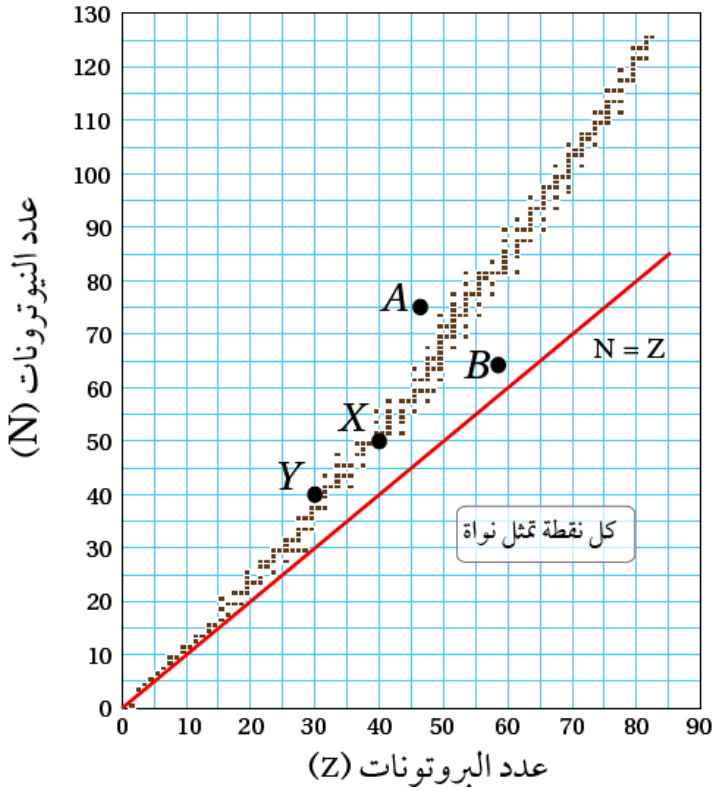
a) أحسب نصف قطر النواة (X) .

b) أحسب طاقة الربط النووية للنواة (Y) علما أن كتلتها تساوي $(70.0012\ amu)$.

c) أيُّهما يملك طاقة ربط نوويّة لكل نيوكليون اعلى (X) أم (Y) ، ولماذا؟

d) كيف أفسّر أنّ عدد النيوترونات أكبر من عدد البروتونات للنواة (X) .

e) أسمّي من الشكل نواتين مستقرتين ونواتين غير مستقرتين.



الحلّ:

a) نصف قطر النواة (X) :

$$r = r_0 \sqrt[3]{A_X} = 1.2 \times 10^{-15} \times \sqrt[3]{(40+50)} = 5.38 \times 10^{-15}\ \text{m}$$

b) طاقة الربط النووية للنواة (Y) علما أن كتلتها تساوي $(70.0012\ amu)$:

$$BE(Y) = (Z\,m_p + N\,m_n - M) \times 931.5$$
$$= (30 \times 1.0073 + 40 \times 1.0087 - 70.0012) \times 931.5$$
$$= 0.5658 \times 931.5 \approx 527\ \text{MeV}$$

c) أيُّهما يملك طاقة ربط نوويّة لكل نيوكليون اعلى (X) أم (Y) ، ولماذا؟

النواة (Y) تملك طاقة ربط لكل نيوكليون أعلى لأن عددها الكتلي أقرب للعد الكتلي (60) .

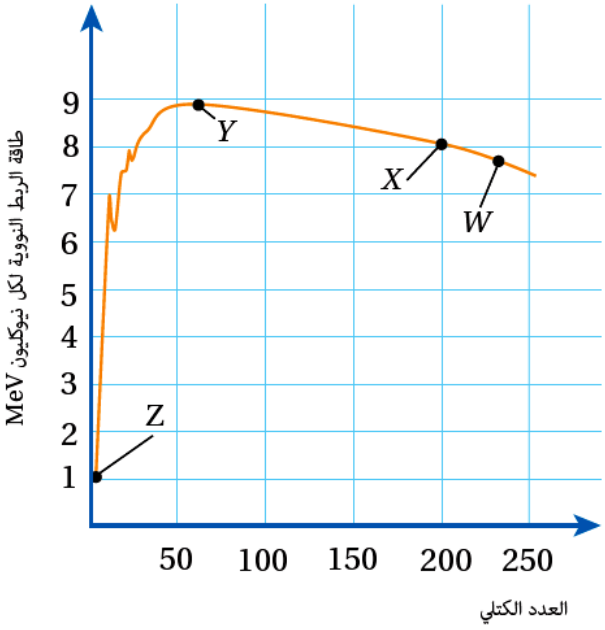
d) كيف أفسّر أنّ عدد النيوترونات أكبر من عدد البروتونات للنواة (X) .

العدد الذري للنواة (X)أكبر من 20 ، وتكون قوة التنافر الكهربائية كبيرة لهذا العدد الذري. وحتى تصبح القوة النووية (قوة تجاذب) هي السائدة يجب أن يكون عدد النيوترونات أكبر من عدد البروتونات.

e) أسمّي من الشكل نواتين مستقرتين ونواتين غير مستقرتين.

(X) و (Y) نواتين مستقرتين، و(A) و(B) نواتين غير مستقرتين.

15.أحلّل: يمثّل المنحنى المجاور العلاقة بين طاقة الربط النوويّة لكل نيوكليون والعدد الكتلي لنوى العناصر (Z Y, X, W) اعتمادًا على المنحنى ، أُجيب عن الأسئلة الآتية:



a) أيّ هذه العناصر أكثر استقرارًا ؟ ولماذا؟
b) أيّ هذه العناصر أكثر قابليّة للانشطار، وأيّها أكثر قابليّة للاندماج عند إحداث تفاعل نووي؟
c) أحسب طاقة الربط النووية لنواة العنصر (X).

الحلّ:

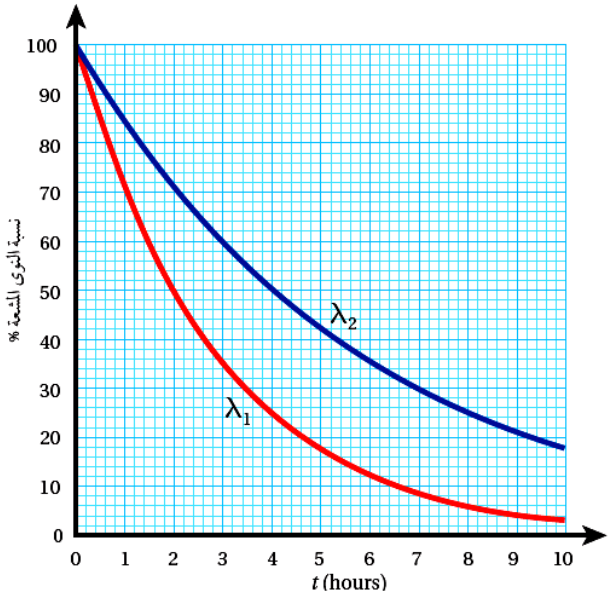
a) الأكثر استقرارًا :
العنصر (Y) هو الأكثر استقراراً لأنه يمتلك أكبر طاقة ربط نووية لكل نيوكليون.

b) العناصر الأكثر قابليّة للانشطار، والأكثر قابليّة للاندماج عند إحداث تفاعل نووي:
العنصر (W) هو الأكثر قابلية للانشطار والعنصر (Z) هو الأكثر قابلية للاندماج.

c) طاقة الربط النووية لنواة العنصر (X):

$$\frac{BE}{A}(X) = 8 \rightarrow \frac{BE}{200}(X) = 8 \rightarrow BE(X) = 200 \times 8 = 1600 \text{ MeV}$$

16.أحلّل رسمًا بيانيًّا: يمثّل الشكل رسمًا بيانيًّا يوضّح العلاقة بين النسبة $\left(\frac{N}{N_0} \times 100\%\right)$ مع الزمن لنظيري عنصرين مشعّين، ثابتُ الاضمحلال لكلٍّ منهما (λ_1, λ_2) .



a) ما عمر النصف لكلٍّ منهما؟
b) ما نسبة عدد النوى المشعّة المتبقيّة بعد مرور 10 ساعات لكلٍّ من النظيرين؟
c) أيّهما أكبر (λ_1) ام (λ_2) ؟

الحلّ:

a) عمر النصف لكلٍّ منهما
من الرسم البياني نجد أن عمر النصف للعنصر(1) يساوي تقريباً (2 hr) أما للعنصر(2) فعمر النصف يساوي تقريباً (4 hr) .

b) عدد النوى المشعّة المتبقيّة بعد مرور 10 ساعات لكلٍّ من النظيرين:

$$\frac{N}{N_0}(1) \times 100\% = \frac{4}{100} \times 100\% = 4\ \%$$

$$\frac{N}{N_0}(2) \times 100\% = \frac{18}{100} \times 100\% = 18\ \%$$

c) $(\lambda_2) < (\lambda_1)$ ، حيث يتناسب ثابت الاضمحلال عكسياً مع عمر النصف.

أسئلة التفكير الواردة في كتاب الأنشطة

1. أضعُ دائرةً حول رمز الإجابة الصحيحة لكُلّ جملة ممّا يأتي:

1. إذا كان عمر النصف للنظير (X) ضعفي عمر النصف للنظير (Y) ، فإنّ ثابت الاضمحلال للنظير (X) يساوي:
   a) ضعفي ثابت الاضمحلال للنظير (Y).
   b) ثابت الاضمحلال للنظير (Y) .
   c) ثلاثة أضعاف ثابت الاضمحلال للنظير (Y).
   d) نصف ثابت الاضمحلال للنظير (Y).

2. إذا مرّ زمن مقداره ضعفا عمر النصف لعينة مشعّة، فإنّ نشاطيّتها الإشعاعية:
   a) تتضاعف أربع مرات.
   b) تقلّ للربع.
   c) تتضاعف مرتين.
   d) تقلّ للنصف.

3. تنشطر نواة اليورانيوم - 235 عند قذفها بنيوترون بطيء بأكثر من طريقة مختلفة، فأحيانًا ينتج من انشطارها نيوترونان، وأحيانًا ثلاثة نيوترونات، فأيّ العبارات الآتية صحيحة فيما يتعلق بمعدل انشطار ذرات اليورانيوم في قلب المفاعل؟
   a) التفاعل الذي ينتج نيوترونين.
   b) التفاعل الذي ينتج ثلاثة نيوترونات.
   c) كلاهما يؤدي إلى نفس معدل انشطار اليورانيوم في قلب المفاعل.
   d) لا يمكن التحكم بمعدل انشطار اليورانيوم في قلب المفاعل.

4. أي العبارات الآتية صحيحة للنواتين $(^{15}_{7}N)$ و $(^{15}_{8}O)$.
   a) لهما نفس طاقة الربط النووية وطاقة التنافر الكهربائي.
   b) طاقة الربط النووية لنواة $(^{15}_{7}N)$ أكبر منها لنواة $(^{15}_{8}O)$.
   c) طاقة التنافر الكهربائي وطاقة الربط النووية لنواة $(^{15}_{8}O)$ أكبر منها لنواة $(^{15}_{7}N)$.
   d) طاقة الربط النووية لنواة $(^{15}_{8}O)$ أكبر منها لنواة $(^{15}_{7}N)$.

5. النيوكليون الموجود على سطح نواة ثقيلة يرتبط مع النواة بطاقة ربط
   a) أكبر من النيوكليون الموجود قرب مركز النواة.
   b) أقل من النيوكليون الموجود قرب مركز النواة.
   c) مساوية للنيوكليون الموجود قرب مركز النواة.
   d) نحتاج لمعلومات إضافية للإجابة.

الإجابات :

1	2	3	4	5
d	b	b	b	b

2. أحسب: تقوم سوسن بدراسة النشاط الإشعاعي لنظير راديوم مشعّ يحتوي (1.5×10^9) نواة مشعّة، باستخدام كاشف للإشعاع لا يقيس إلّا(10%) من الإشعاعات الواصلة إليه، فكانت قراءته (35) اضمحلالً في الدقيقة الواحدة، أحسب ثابت الاضمحلال للراديوم.

الحلّ:

النشاطية الإشعاعية التي يقيسها الجهاز بوحدة (Bq) :

$$A_{(\text{المقاسة})} = \frac{35}{60} = 0.583 \text{ Bq}$$

وبما أن كاشف للإشعاع لا يقيس إلّا(10%) من الإشعاعات الواصلة إليه :

$10\% = 0.583$

$100\% = A_{(\text{الفعلية})}$

$$A_{(\text{الفعلية})} = \frac{100\%}{10\%} \times 0.583 = 5.83 \text{ Bq}$$

ولحساب ثابت الاضمحلال:

$$A_0 = N_0 \lambda$$

$$5.83 = 1.5 \times 10^9 \times \lambda$$

$$\lambda = \frac{5.83}{1.5 \times 10^9} = 3.88 \times 10^{-9} \ s^{-1}$$

3. تتضمن إحدى تفاعلات الاندماج اندماج نواة الديتيريوم $({}_1^2H)$ مع نواة التريتيوم $({}_1^3H)$ لتكوين نواة الهيليوم $({}_2^4He)$ حسب التفاعل النووي الآتي :

$${}_1^2H + {}_1^3H \rightarrow {}_2^4He + {}_0^1n$$

اعتماداً على المعلومات المثبتة في الجدول الآتي أجيب عمّا يأتي :

النواة	${}_1^2H$	${}_1^3H$	${}_2^4He$
طاقة الربط النووية لكل نيوكليون $\frac{BE}{A}$ (MeV)	1.11	2.83	7.07

a) أحسب طاقة الربط النووية لكل نواة في الجدول.

b) أجد الفرق بين طاقة الربط النووية للهيليوم ومجموع طاقتي الربط النووية للتريتيوم والديتيريوم.

c) ما مصدر فرق الطاقة المحسوب في الفرع السابق؟

الحلّ:

a) طاقة الربط النووية لكل نواة في الجدول :

الطاقة المعطاة في الجدول هي طاقة الربط النووية لكل نيوكليون ولحساب طاقة الربط النووية لنواة معينة نستخدم العلاقة التالية :

$$BE = \frac{BE}{A} \times A \ , \ (\text{MeV})$$

^4_2He	^3_1H	^2_1H	النواة
7.07	2.83	1.11	طاقة الربط النووية لكل نيوكليون $\frac{BE}{A}$, (MeV)
7.07×4 = 28.28	2.83×3 = 8.49	1.11×2 = 2.22	طاقة الربط النووية لكل نواة $\frac{BE}{A} \times A$, (MeV)

b) الفرق بين طاقة الربط النووية للهيليوم ومجموع طاقتي الربط النووية للتريتيوم والديتيريوم.

$$\Delta\,(BE) = 28.28 - (8.49 + 2.22\,) = 17.57\ \text{MeV}$$

c) مصدر فرق الطاقة المحسوب في الفرع السابق :
تحول جزء من كتلة المواد الداخلة في التفاعل إلى طاقة.

4. ثلاث نوى لعناصر مختلفة تتساوى في عددها الكتلي $(^{106}_{46}Pd)$ و $(^{106}_{47}Ag)$ و $(^{106}_{45}Rh)$ ، حيث نواة البلاديوم $(^{106}_{46}Pd)$ مستقرة بينما نواة الفضة $(^{106}_{47}Ag)$ و نواة الروديوم $(^{106}_{45}Rh)$ من باعثات بيتا.
أجيب عما يأتي :

a) أي النوى الثلاث لها أكبر طاقة ربط لكل نيوكليون؟

b) أجد نسبة الاستقرار $(\frac{N}{Z})$ للعدد الكتلي (106) .

c) أي النواتين غير المستقرتين تشع بيتا الموجبة؟ وأيها تشع بيتا السالبة؟

d) أكتب معادلة اضمحلال كل من النواتين المشعتين.

الحلّ:

a) نواة $(^{106}_{46}Pd)$ لها أكبر طاقة ربط لكل نيوكليون لأنها المستقرة.

b) نسبة الاستقرار

$\frac{N}{Z}$	N	Z	النوا ة
1.255	59	47	$^{106}_{47}Ag$
1.304	60	46	$^{106}_{46}Pd$
1.356	61	45	$^{106}_{45}Rh$

c) بما أن نسبة $(\frac{N}{Z})$ للنواة $(^{106}_{47}Ag)$ أقل من نسبة الاستقرار فهذا يعني أنها تمتلك فائضاً من البروتونات لذلك تشع بيتا الموجبة. أما النواة $(^{106}_{45}Rh)$ فنسبة $(\frac{N}{Z})$ أكبر من نسبة الاستقرار، وهذا يعني أنها تمتلك فائضاً من النيوترونات لذلك تشع بيتا السالبة.

d)

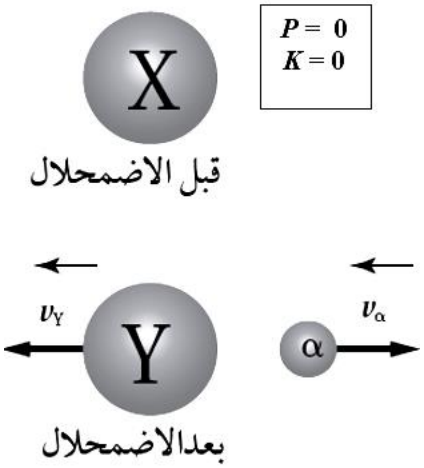
$$^{106}_{47}Ag \rightarrow {}^{106}_{46}Pd + {}^{0}_{+1}e + \nu$$

$$^{106}_{45}Rh \rightarrow {}^{106}_{46}Pd + {}^{0}_{-1}e + \bar{\upsilon}$$

5. يوضح الشكل المجاور اضمحلال الفا للنواة (X) التي عددها الكتلي (232) ، وعلى افتراض أن النواة (X) كانت ساكنة قبل الاضمحلال أجيب عما يأتي:

a) **استخدم المتغيرات:** أكتب معادلة حفظ الزخم الخطي لهذا النظام على افتراض أنه مغلق.

b) **أتوقع:** إذا كانت الطاقة المتحررة من التفاعل تتوزع على جسيم الفا وعلى النواة (Y) كطاقة حركية، فأيهما يمتلك طاقة حركية أكبر؟ أفسّر إجابتي.



الحلّ:

a) معادلة حفظ الزخم الخطي:

$$\sum p_i = \sum p_f$$
$$p_X = p_Y + p_\alpha$$
$$0 = -m_Y\, v_Y + m_\alpha\, v_\alpha$$
$$m_Y\, v_Y = m_\alpha\, v_\alpha$$

b) سيمتلك جسيم ألفا طاقة حركية أكبر من النواة (Y) ، حيث :

$${}^{232}_{Z}X \rightarrow {}^{228}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha \quad , \quad \text{(معادلة الاضمحلال)}$$

$$m_Y\, v_Y = m_\alpha\, v_\alpha$$

$$v_\alpha = \frac{m_Y\, v_Y}{m_\alpha}$$

$$K_\alpha = \frac{1}{2} m_\alpha\, {v_\alpha}^2 = \frac{1}{2} m_\alpha \left(\frac{m_Y\, v_Y}{m_\alpha}\right)^2 = \frac{1}{2}\frac{(m_Y\, v_Y)^2}{m_\alpha}$$

$$K_Y = \frac{1}{2} m_Y\, {v_Y}^2$$

$$\frac{K_\alpha}{K_Y} = \frac{\frac{1}{2}\frac{(m_Y\, v_Y)^2}{m_\alpha}}{\frac{1}{2} m_Y\, {v_Y}^2} = \frac{m_Y}{m_\alpha} = \frac{228}{4} = 57$$

$$K_\alpha = 57\, K_Y$$

أسئلة وزارة + أسئلة إضافية

مثال 1: إضافي

(x,y) نواتان ، إذا علمت أن العدد الكتلي للنواة (x) يساوي ثلاثة أمثال العدد الكتلي للنواة (y) . فجد نسبة :

a) كثافة النواة (x) الى كثافة النواة (y).

b) قطر النواة (x) الى قطر النواة (y) .

c) حجم النواة (x) الى حجم النواة (y) .

الحلّ:

a) كثافة النواة (x) إلى كثافة النواة (y): كنسبة (1:1)، حيث لا تعتمد كثافة النواة على العدد الذري أو الكتلي.

b) قطر النواة (x) الى قطر النواة (y) :

$$A_x = 3\,A_y$$
$$r_x = r_0\sqrt[3]{A_x} = r_0\sqrt[3]{3A_y}$$
$$r_y = r_0\sqrt[3]{A_y}$$

$$\frac{r_x}{r_y} = \frac{r_0\sqrt[3]{3A_y}}{r_0\sqrt[3]{A_y}} = \sqrt[3]{3}$$

الجواب يمثل نسبة نصف القطر وهو نفسه نسبة القطر كاملا

c) حجم النواة (x) الى حجم النواة (y) :

$$V_x = \frac{4}{3}\pi\, {r_x}^3 = \frac{4}{3}\pi\,(r_0 {A_x}^{\frac{1}{3}})^3 = \frac{4}{3}\pi\, {r_0}^3 A_x = \frac{4}{3}\pi\, {r_0}^3 3A_y$$
$$V_y = \frac{4}{3}\pi\, {r_y}^3 = \frac{4}{3}\pi\,(r_0 {A_y}^{\frac{1}{3}})^3 = \frac{4}{3}\pi\, {r_0}^3 A_y$$

$$\frac{V_x}{V_y} = \frac{\frac{4}{3}\pi\, {r_0}^3 3A_y}{\frac{4}{3}\pi\, {r_0}^3 A_y} = 3$$

مثال 2: إضافي

إذا كان الفرق بين مجموع كتل مكونات نواة $(^{56}_{26}Fe)$ وكتلة النواة نفسها يساوي $(0.5\ amu)$، فإن طاقة الربط للنواة تقريبًا تساوي:

الحلّ:

$$BE = \Delta m \times 931.5$$
$$= 0.5 \times 931.5 = 465.25\ Me$$

مثال 3: إضافي

تبدأ سلسلة اضمحلال إشعاعي بنواة $(^{238}_{92}U)$ ، ما رمز النواة الناتجة بعد سلسلة من التحولات انبعث خلالها جسيم الفا واحد وجسيما بيتا ؟

الحلّ:

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{4}_{2}He + 2\,{}^{0}_{-1}e + 2\,\bar{\upsilon}$$
$$A = 238 - 4 = 234$$
$$Z = 92 - (2 + (2 \times -1)) = 92$$
$$\rightarrow {}^{A}_{Z}X = {}^{234}_{92}X$$

ولأن العدد الذري للنواة الناتجة نفسه للنواة الأم؛ فالنواة الناتجة هي نظير اليورانيوم

مثال 4: إضافي

تمر نواة البروتكتينيوم $(^{234}_{91}Pa)$ في احدى سلاسل النشاط الإشعاعي الطبيعي بسلسلة اضمحلالات إشعاعية لتنتج نواة الرصاص $(^{210}_{82}Pb)$ كما في المعادلة النووية الآتية :

$$^{234}_{91}Pa \rightarrow {}^{210}_{82}Pb + m\ {}^{4}_{2}He + n\ {}^{0}_{-1}e + n\ \bar{\upsilon}$$

احسب قيمة (m) و (n) في المعادلة السابقة .

الحلّ:

$$(m \times 4) + (n \times 0) + 210 = 234 \rightarrow m = \frac{234-210}{4} = 6$$

$$(m \times 2) + (n \times -1) + 82 = 91$$

$$(6 \times 2) + (n \times -1) + 82 = 91 \rightarrow n = 94 - 91 = 3$$

لاحظ أن عدد ضديد النيوترينو الناتج مساوي عدد الالكترونات الناتجة .

مثال 5: إضافي

وضح المقصود بدورة (بروتون – بروتون) .

هي سلسلة تفاعلات اندماج نووي ينتج عنها طاقة هائلة، تحدث في بعض النجوم يكون ناتجها النهائي التحام أربعة بروتونات لتكوين نواة هيليوم وفقًا للمعادلة الآتية :

$$4\ {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}H + 2\ {}^{0}_{+1}e + 2\ \nu$$

مثال 6: وزارة 2019

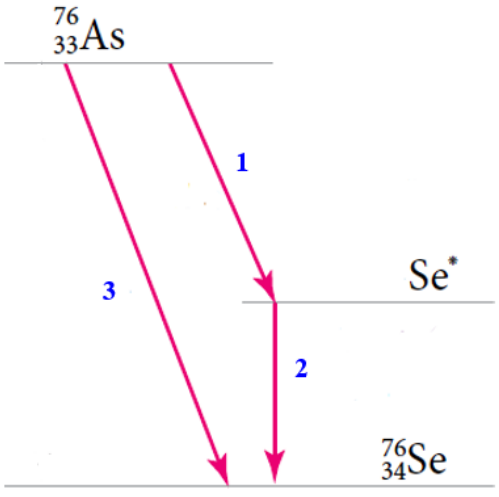
تضمحل نواة الزرنيخ $(^{76}_{33}As)$ المشعة باعثة دقيقة بيتا السالبة وطاقتها (2.41 MeV) ، ثم أشعة غاما وطاقتها (0.56 MeV) مستعيناً بالبيانات المثبتة على الشكل المجاور :**أجب عمّا يأتي:**

a) اكتب معادلة نووية موزونة تبين اضمحلال نواة الزرنيخ عبر المرحلتين (1) و (2) .

b) احسب الطاقة التي يجب أن تبعثها نواة الزرنيخ في المرحلة (3) حتى تستقر.

الحلّ:

a) المعادلة في المرحلتين :



(1) $^{76}_{33}As \rightarrow {}^{76}_{34}Se^{*} + {}^{0}_{-1}e + \bar{\upsilon}$

(2) $^{76}_{34}Se^{*} \rightarrow {}^{76}_{34}Se + \gamma$

b) الطاقة التي يجب أن تبعثها النواة المرحلة (3) :

$$E_3 = E_1 + E_2$$
$$= 2.41 + 0.56$$
$$= 2.97\ \text{MeV}$$

مثال 7: وزارة 2019

سلسلة الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي التي تبدأ بنظير اليورانيوم $(^{235}_{92}U)$ تسمى سلسلة:

a) اليورانيوم b) الثوريوم c) الأكتينيوم d) الرصاص

الجواب الصحيح : c) الأكتينيوم

مثال 8: وزارة 2019 تكميلي

المعادلة النووية الآتية تمثل اضمحلال نواة الثوريوم. **أجب عمّا يأتي:**

$$^{232}_{90}Th \rightarrow {}^{A}_{Z}X + 6Y + 4W + 4\,\bar{\upsilon}$$

a) ماذا يمثل كل من الرمزين (Y) و (W) .

b) احسب العدد الذري للنواة (X) الناتجة .

الحلّ:

a)

$Y = {}^{4}_{2}He = \alpha$

$W = \beta^{-} = {}^{0}_{-1}e$ (لان انبعاث بيتا السالبة (الالكترون) يصاحبه انبعاث ضديد النيوترينو)

b) العدد الذري (Z) :

$90 = Z + (6\times 2) + (4\times -1)$

$Z = 90 - 8 = 82$

مثال 9: وزارة 2019 تكميلي

تزيد نواة البولونيوم $(^{218}_{84}Po)$ عن نواة الرصاص $(^{210}_{82}Pb)$ بمقدار:

a) $(2\,p\,,8\,n)$ b) $(2\,p\,,6\,n)$ c) $(6\,p\,,2\,n)$ d) $(8\,p\,,2\,n)$

الجواب الصحيح : b) $(2\,p\,,6\,n)$

مثال 10: وزارة 2019 خطة

كتلة نواة العنصر تكون:

a) مساوية لمجموع كتل مكوناتها. b) مساوية لمجموع الأعداد الذرية لمكوناتها .

c) أكبر من مجموع كتل مكوناتها. d) أقل من مجموع كتل مكوناتها .

الجواب الصحيح : d) أقل من مجموع كتل مكوناتها .

مثال 11: وزارة 2019 خطة

تتشابه نظائر العنصر الواحد في:

a) عدد البروتونات b) عدد النيوترونات c) عدد النيوكليونات d) العدد الكتلي

الجواب الصحيح : a) عدد البروتونات

مثال 12: وزارة 2019 خطة

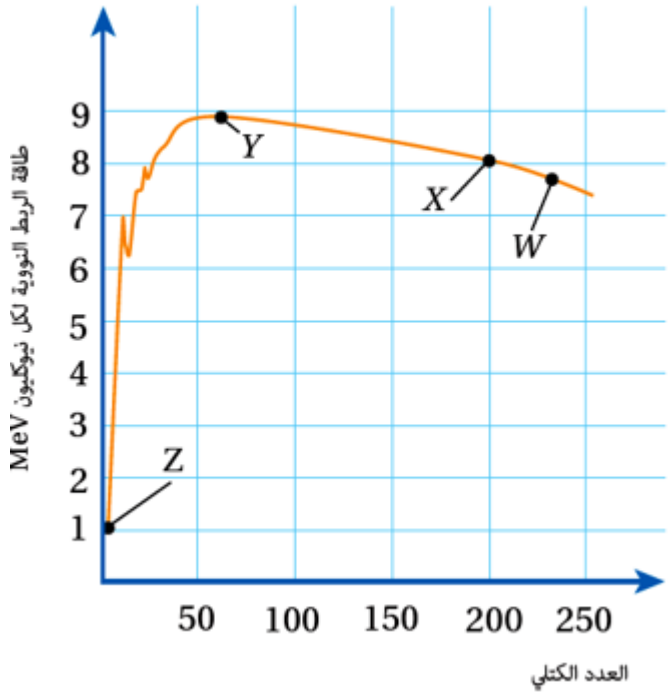
رمز العنصر الذي تمتلك ذراته أكبر طاقة ربط نووية من العناصر الآتية هو:

a) $(^{4}_{2}He)$ b) $(^{12}_{6}C)$ c) $(^{56}_{26}Fe)$ d) $(^{235}_{92}U)$

الجواب الصحيح : d) $(^{235}_{92}U)$

مثال 13: وزارة 2019 تكميلي

اعتماداً على منحنى طاقة الربط النووية لكل نيوكليون في الشكل المجاور، فإن الترتيب الصحيح للنوى $(Y,X.W)$ تنازلياً وفق استقرارها هو:



a) (W) يليه (X) يليه (Y)
b) (W) يليه (Y) يليه (X)
c) (X) يليه (W) يليه (Y)
d) (W) يليه (X) يليه (Y)

الجواب الصحيح : d) (W) يليه (X) يليه (Y)

مثال 14: وزارة 2019 تكميلي

تمتاز دقائق ألفا بقدرتها العالية على تأيين ذرات المادة التي تصطدم بها بسبب:

a) كبر كتلتها، وكبر شحنتها.
b) كبر كتلتها، وصغر شحنتها.
c) صغر كتلتها، وكبر شحنتها.
d) صغر كتلتها، وصغر شحنتها.

الجواب الصحيح : a) كبر كتلتها، وكبر شحنتها.

مثال 15: وزارة 2019 تكميلي

يحدث تفاعل الاندماج النووي في باطن الشمس بسبب توافر:

a) ضغط مرتفع، ودرجة حرارة منخفضة.
b) ضغط منخفض، ودرجة حرارة منخفضة.
c) ضغط مرتفع، ودرجة حرارة مرتفعة.
d) ضغط منخفض، ودرجة حرارة مرتفعة.

الجواب الصحيح : c) ضغط مرتفع، ودرجة حرارة مرتفعة

مثال 16: وزارة 2019 شتوية

واحدة ممّا يأتي تُعد من أفضل القذائف في التفاعلات النووية:

a) (^1_0n) b) (^1_1H) c) (^2_1H) d) (^4_2He)

الجواب الصحيح : a) (^1_0n)

مثال 17: وزارة 2019 شتوية

أكمل المعادلتين النوويتين الآتيتين:

$${}_0^1n \rightarrow {}_1^1H + \ldots\ldots + \ldots\ldots$$

$${}_4^{10}Be^* \rightarrow {}_4^{10}Be + \ldots.$$

الحلّ:

$${}_0^1n \rightarrow {}_1^1H + {}_{-1}^0e + \bar{\upsilon}$$

$${}_4^{10}Be^* \rightarrow {}_4^{10}Be + \gamma$$

مثال 18: وزارة 2018 صيفية

تختلف نواة الراديوم $({}^{226}Ra)$عن نواة $({}^{228}Ra)$ في :

a) عدد البروتونات b) عدد النيوترونات c) عدد النيوكليونات d) العدد الذري

الجواب الصحيح : b) عدد النيوترونات

مثال 19: وزارة 2018 صيفية

الإشعاع النووي الذي له قدرة عالية على التأيين بسبب كبر شحنته مقارنة مع باقي الإشعاعات النوويّة يكون:

a) سرعته تساوي سرعة الضوء. b) مدى اختراقه كبير.

c) بصغر مقدارها وطول مداه. d) مدى اختراقه صغير.

الجواب الصحيح : d) مدى اختراقه صغير

مثال 20: وزارة 2018 شتوية

تمتاز القوة النووية التي تربط بين نيوكليونين متجاورين في النواة:

a) بكبر مقدارها وقصر مداها. b) بكبر مقدارها وطول مداها.

c) كتلته صغيرة. d) بصغر مقدارها وقصر مداها.

الجواب الصحيح : a) بكبر مقدارها وقصر مداها

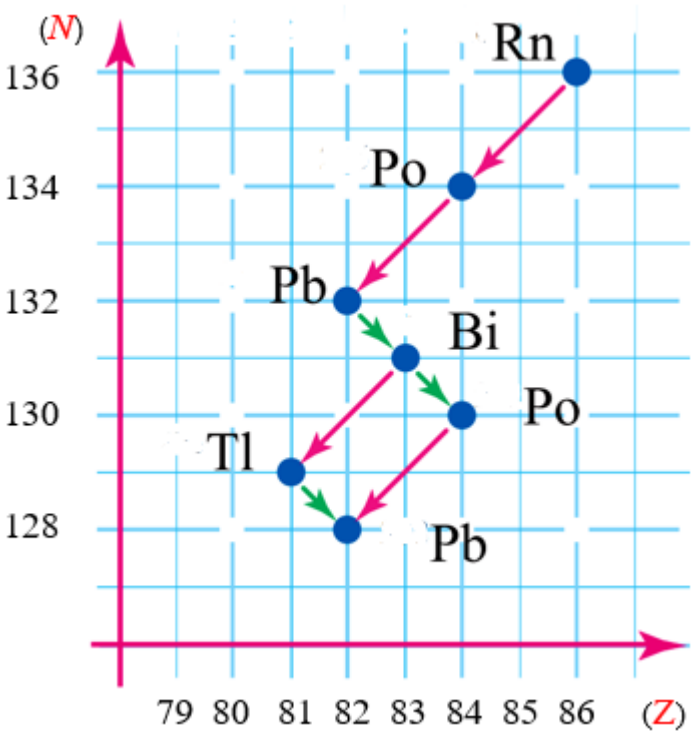
مثال 21: وزارة 2012 صيفية

يبّين الشكل المجاور جزءاً من سلسلة الاضمحلال الإشعاعي لليورانيوم (238)، معتمداً على الشكل:

a) ما عدد جسيمات ألفا وبيتا المنبعثة من اضمحلال (Rn) إلى (Bi) ؟

b) مّثل اضمحلال الرصاص (Pb) إلى (Bi) بمعادلة نووية موزونة .

c) اكتب اثنين من المبادئ التي يخضع لها الاضمحلال الإشعاعي.



الحلّ:

a) عدد الجسيمات : ($2\ \alpha$) (1β)

b) المعادلة النووية:

$$^{214}_{82}Pb \rightarrow {}^{214}_{83}Bi + {}^{0}_{-1}\beta + \bar{\upsilon}$$

c) حفظ (الطاقة – الكتلة)
حفظ الزخم.
حفظ العدد الكتلي.
حفظ العدد الذري (الشحنة).

مثال 22: وزارة 2015 صيفية

أجب عمّا يأتي:

a) عندما تبعث نواة غير مستقرة جُسيم ألفا أو بيتا يصاحب ذلك أحياناً انبعاث أشعة غاما. فسّر ذلك.

b) وضّح دور القوى النووية في استقرار النواة.

c) اكتب معادلة تحلّل النيوترون.

الحلّ:

a) لان النواة ناتجة تكون في حالة إثارة وتمتلك طاقة فتشعها على شكل أشعة غاما.

b) يكون بين نيوكليونات النواة قوى تجاذب نووية بغض قوى التنافر الكهربائية بين البروتونات فقط ولذلك فإنها تعمل على المحافظة على استقرار النواة.

c)

$$^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{0}_{-1}e + \bar{\upsilon}$$

مثال 23: وزارة 2013 صيفية

وظيفة الجرافيت في المفاعل النووي هي:

a) إبطاء سرعة النيوترونات.
b) زيادة سرعة النيوترونات.
c) امتصاص بعض النيوترونات.
d) إيقاف النيوترونات.

الجواب الصحيح :a) إبطاء سرعة النيوترونات.

مثال 24: وزارة 2013 صيفية

تمر نواة غير مستقرة بسلسلة اضمحلالات إشعاعية، فنجد أن العدد الكتلي للنواة الناتجة يقل بثماني وحدات عن النواة الأصلية بينما يبقى العدد الذري كما هو. نستنتج أن عدد جسيمات ألفا وبيتا المنبعثة:

a) $(2\ \alpha, 2\ \beta)$ b) $(2\ \alpha, 4\ \beta)$ c) $(1\ \alpha, 2\ \beta)$ d) $(1\ \alpha, 3\ \beta)$

$$^{218}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{214}_{82}Pb \xrightarrow{\beta^-} {}^{214}_{83}Bi \xrightarrow{\beta^-} {}^{214}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{210}_{82}Pb \xrightarrow{\beta^-} {}^{210}_{83}Bi \xrightarrow{\beta^-} {}^{210}_{84}Po$$

الجواب الصحيح: b) $(2\ \alpha, 4\ \beta)$

مثال 25: إضافي

تمر نواة غير مستقرة بسلسلة اضمحلالات إشعاعية، فنجد أن العدد الكتلي للنواة الناتجة يقل باربع وحدات عن النواة الأصلية بينما يبقى العدد الذري كما هو. نستنتج أن عدد جسيمات ألفا وبيتا المنبعثة:

a) $(2\ \alpha, 2\ \beta)$ b) $(2\ \alpha, 4\ \beta)$ c) $(1\ \alpha, 3\ \beta)$ d) $(1\ \alpha, 2\ \beta)$

$$^{214}_{82}Pb \xrightarrow{\beta^-} {}^{214}_{83}Bi \xrightarrow{\beta^-} {}^{214}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{210}_{82}Pb$$

or

$$^{214}_{83}Bi \xrightarrow{\beta^-} {}^{214}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{210}_{82}Pb \xrightarrow{\beta^-} {}^{210}_{83}Bi$$

الجواب الصحيح: d) $(1\ \alpha, 2\ \beta)$

مثال 26: وزارة 2013 شتوية

يتم إدخال قضبان الكادميوم في المفاعل النووي من أجل:

a) إبطاء سرعة النيوترونات. b) زيادة سرعة النيوترونات.

c) زيادة سرعة المفاعل. d) امتصاص النيوترونات.

الجواب الصحيح: d) امتصاص النيوترونات

مثال 27: وزارة 2012 صيفية

عند اندماج نواتين معاً تتكون نواة جديدة، إن النواة الجديدة المتكونة بالنسبة لأي من النواتين المندمجتين تكون ذات:

a) كتلة أكبر وطاقة ربط أقل لكل نيوكليون. b) كتلة أكبر وطاقة ربط أكبر لكل نيوكليون.

c) كتلة أقل وطاقة ربط أقل لكل نيوكليون. d) كتلة أقل وطاقة ربط أكبر لكل نيوكليون.

الجواب الصحيح: d) كتلة أكبر وطاقة ربط أكبر لكل نيوكليون

مثال 28: وزارة 2011 شتوية

عدد جسيمات ألفا وبيتا المنبعثة من سلسلة تحولات تضمحل خلالها نواة $(^{234}_{90}Th)$ الى نواة $(^{222}_{86}Rn)$ هي:

a) $(2\ \alpha, 3\ \beta)$ b) $(3\ \alpha, 3\ \beta)$ c) $(2\ \alpha, 2\ \beta)$ d) $(3\ \alpha, 2\ \beta)$

الجواب الصحيح: d) $(3\ \alpha, 2\ \beta)$

مثال 29: وزارة 2011 شتوية

القوة التي تنشأ بين بروتون ونيوترون داخل النواة هي:

a) تجاذب نووي فقط.
b) تجاذب كهربائي فقط.
c) تجاذب نووي وتجاذب كهربائي.
d) تنافر نووي وتجاذب كهربائي.

الجواب الصحيح: a) تجاذب نووي فقط

مثال 30: وزارة 2009 شتوية

$({}^{A}_{Z}X)$ نواة عنصر غير مستقر، أطلقت أربع جسيمات بيتا وجسيم ألفا واحد، فإن النواة الناتجة تكون:

a) $({}^{A-4}_{Z+2}Y)$ b) $({}^{A-2}_{Z-4}Y)$ c) $({}^{A+2}_{Z+4}Y)$ d) $({}^{A+4}_{Z-2}Y)$

الجواب الصحيح: a) $({}^{A-4}_{Z+2}Y)$

مثال 31: وزارة 2008 صيفية

لكي تصبح النوى غير المستقرة أكثر استقراراً فإنها تتحول إلى نوى ذات:

a) كتلة أقل وطاقة ربط أعلى.
b) كتلة أكبر وطاقة ربط أقل.
c) كتلة أكبر وطاقة ربط أعلى.
d) كتلة أقل وطاقة ربط أقل.

الجواب الصحيح: a) كتلة أقل وطاقة ربط أعلى

مثال 32: وزارة 2022 صيفية

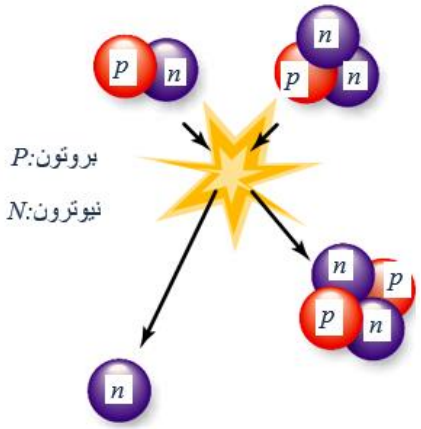
تمر نواة الراديوم $({}^{226}_{88}Ra)$ بسلسلة اضمحلالات إشعاعية باعثة (4α) و (4β) ، القيم الصحيحة لكل من العدد الذري (Z) والعدد الكتلي (A) :

a) (Z=84 , N=214)
b) (Z=84 , N=210)
c) (Z=88 , N=210)
d) (Z=88 , N=214)

الجواب الصحيح:b) (Z=84 , N=210)

مثال 33: وزارة 2022 صيفية

يمثل الشكل المجاور رسما تخطيطيا لاحد تفاعلات الاندماج النووي،
المعادلة النووية الصحيحة التي تعبر عن هذا التفاعل:



a) $^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$
b) $^{1}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{2}_{2}He + {}^{1}_{0}n$
c) $^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H$
d) $^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{2}_{1}H$

الجواب a: $^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$

مثال 34: وزارة 2021 تكميلي

إذا علمت أن نصف قطر النواة (X) يساوي $(3.6\times 10^{-15}m)$ فالنواة (X) هي نواة نظير :

a) $(^{25}_{13}Al)$ b) $(^{27}_{13}Al)$ c) $(^{60}_{27}Co)$ d) $(^{53}_{27}Co)$

$$r = r_0 \sqrt[3]{A_X}$$
$$3.6\times 10^{-15} = 1.2\times 10^{-15} \sqrt[3]{A_X}$$
$$\sqrt[3]{A_X} = \frac{3.6\times 10^{-15}}{1.2\times 10^{-15}} = 3 \rightarrow A_X = 27$$

الجواب الصحيح b: $(^{27}_{13}Al)$

مثال 35: وزارة 2020

إذا علمت أن العدد الذري لعنصر ما يساوي (31) ونصف قطر نواته $(4.8\times 10^{-15}m)$ فان عدد النيوترونات في نواته يساوي :

a) (31) b) (32) c) (33) d) (34)

$$r = r_0 \sqrt[3]{A}$$
$$4.8\times 10^{-15} = 1.2\times 10^{-15} \sqrt[3]{A}$$
$$\sqrt[3]{A} = \frac{4.8\times 10^{-15}}{1.2\times 10^{-15}} = 4 \rightarrow A = 64$$
$$N = A - Z$$
$$= 64 - 31 = 33$$

الجواب الصحيح c: (33)

مثال 36: وزارة 2021

التفاعل النووي الذي تعبر عنه المعادلة النووية الآتية: $^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$ هو تفاعل:

a) اندماج نووي b) انشطار نووي c) اضمحلال الفا d) اضمحلال بيتا

الجواب الصحيح a: اندماج نووي

مثال 37: وزارة 2021

العدد الكتلي للعنصر (x) يساوي (8) أمثاله للعنصر (y)، النسبة بين نصفي قطر النواتين $(\frac{r_x}{r_y})$ تساوي:

a) 8 b) $\frac{1}{8}$ c) 2 d) $\frac{1}{2}$

$$A_x = 8\ A_y$$
$$r_x = r_0\sqrt[3]{A_x} = r_0\sqrt[3]{8A_y}$$
$$r_y = r_0\sqrt[3]{A_y}$$

$$\frac{r_x}{r_y} = \frac{r_0\sqrt[3]{8A_y}}{r_0\sqrt[3]{A_y}} = \sqrt[3]{8} = 2$$

الجواب الصحيح: c) 2

مثال 38: وزارة 2021

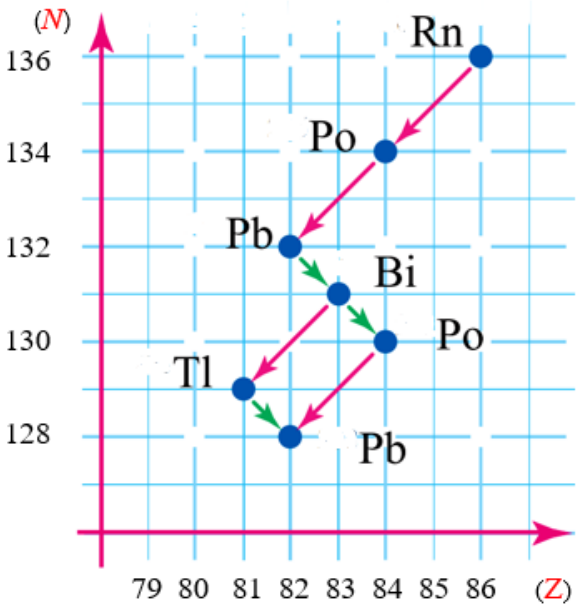
في المعادلة النووية الاتية $({}^{12}_{6}C + x \rightarrow {}^{0}_{-1}e + y)$ الرمزان (y, x) يمثلان :

a) نيوترينو، ${}^{14}_{7}N$ b) ضديد النيوترينو ${}^{14}_{7}N$ c) نيوترون، ${}^{13}_{7}N$ d) الفا، ${}^{10}_{7}N$

الجواب الصحيح: b) ضديد النيوترينو، ${}^{14}_{7}N$

مثال 39: وزارة 2021

معتمدا على البيانات المثبتة في الشكل المجاور والذي يبين الجزء الأخير من أحد سلاسل الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي، والتي تنتهي بنظير الرصاص (Pb) المستقر عدد جسيمات الفا (α) وبيتا (β) المنبعثة من اضمحلال نواة الرصاص غير المستقر الى نواة الرصاص المستقر:



a) $(2\ \alpha, 3\ \beta)$ b) $(3\ \alpha, 3\ \beta)$
c) $(\alpha, 2\ \beta)$ d) $(3\ \alpha, 2\ \beta)$

الجواب الصحيح: c) $(\alpha, 2\ \beta)$

مثال 40 : إضافي

ضديد النيوترينو جُسيم يَنتج عن عمليّة:

a) تحلّل البروتون إلى نيوترون وبوزيترون.
b) تحلّل النيوترون إلى بروتون وإلكترون.
c) اضمحلال غاما.
d) خروج جُسيم ألفا من النواة.

الجواب الصحيح: b) تحلّل النيوترون إلى بروتون وإلكترون .

مثال 41 : إضافي

قارن بين قضبان التحكّم و الموادّ المُهدّئة المستخدمة في المفاعل النووي من حيث المواد المستخدمة وميزة هذه المواد ووظيفتها وفائدتها للتفاعل ؟

الحلّ:

	المواد المستخدمة	ميزتها	الوظيفة	فائدتها
قضبان التحكّم	1. الكادميوم 2. البورون	مقدرتها عالية على امتصاص النيوترونات	تمتص بعضًا من النيوترونات ما يؤدي إلى إبطاء التفاعل المتسلسل	التحكم في الطاقة الناتجة من المفاعل والتحكم في سرعته
الموادّ المُهدّئة	1. الماء الثقيل 2. الماء العادي 3. الغرافيت	موادّ ذات أعداد كتلية صغيرة	تبطّئ الموادّ المهدّئة النيوترونات الناتجة من الانشطار	زيادة احتمالية حدوث تفاعلات انشطارية جديدة

مثال 42 : إضافي

واحدة مما يلي صحيحة فيما يخص المواد لمُهدّئة في المفاعل النووي :

a) تزيد من احتمالية حدوث تفاعلات انشطارية جديدة.
b) تتحكم في الطاقة الناتجة من المفاعل والتحكم في سرعته.
c) تمتص بعضًا من النيوترونات ما يؤدي إلى إبطاء التفاعل المتسلسل.
d) مقدرتها عالية على امتصاص النيوترونات.

الجواب الصحيح : a) تزيد من احتمالية حدوث تفاعلات انشطارية جديدة.

مثال 43 : إضافي

واحدة مما يلي صحيحة فيما يخص قضبان التحكّم في المفاعل النووي :

a) تبطّئ قضبان التحكّم النيوترونات الناتجة من الانشطار.
b) تزيد من احتمالية حدوث تفاعلات انشطارية جديدة.
c) موادّ ذات أعداد كتلية صغيرة مثل الماء.
d) تمتص بعضًا من النيوترونات ما يؤدي إلى إبطاء التفاعل المتسلسل

الجواب الصحيح : d) تمتص بعضًا من النيوترونات ما يؤدي إلى إبطاء التفاعل المتسلسل

مثال 44 : إضافي

في الشكل المجاور إذا كانت المعادلة التالية تمثل اضمحلال النواة (X) :

$$^{238}_{92}X \rightarrow Y + {}^{4}_{2}\alpha$$

وعلى افتراض أن النواة (X) كانت ساكنة قبل الاضمحلال، والطاقة المتحررة من التفاعل تتوزع على جسيم الفا (α) وعلى النواة (Y) كطاقة حركية في نظام مغلق . اجب عن الفقرتين التاليتين:

1. النسبة بين طاقة حركة الجسيم الفا (α) الى النواة (Y) تكون :

(a $\frac{238}{2}$ (b $\frac{234}{2}$ (c $\frac{238}{4}$ (d $\frac{234}{4}$

الجواب الصحيح : (d $\frac{234}{4}$

2. النسبة بين الزخم الخطي للجسيم الفا (α) الى الزخم الخطي للنواة (Y) يكون :

(a 0 (b 1 (c 2 (d $\frac{1}{4}$

الجواب الصحيح : (b 1

مثال 45 : إضافي

في الشكل المجاور إذا كانت المعادلة التالية تمثل اضمحلال النواة (X) :

$$^{A}_{Z}X \rightarrow Y + {}^{4}_{2}\alpha$$

وعلى افتراض أن النواة (X) كانت ساكنة قبل الاضمحلال، والطاقة المتحررة من التفاعل تتوزع على جسيم الفا (α) وعلى النواة (Y) كطاقة حركية في نظام مغلق .

فان النسبة بين طاقة حركة الجسيم الفا (α) الى النواة (Y) تكون :

(a $\frac{A}{4}$ (b $\frac{4}{A}$ (c $\frac{A-4}{4}$ (d $\frac{4}{A-4}$

الجواب الصحيح : (c $\frac{A-4}{4}$

ملخص قوانين الوحدة السابعة

^A_ZX, ^A_ZY	^A_ZX	^A_ZY	النسبة
نصف قطر النواة (r)	$r_X = r_0 \sqrt[3]{A_X}$	$r_Y = r_0 \sqrt[3]{A_Y}$	$\frac{r_X}{r_Y} = \frac{\sqrt[3]{A_X}}{\sqrt[3]{A_Y}}$
كتلة النواة (m)	$m_X = m_{nuc}\, A_X$	$m_Y = m_{nuc}\, A_Y$	$\frac{m_X}{m_Y} = \frac{A_X}{A_Y}$
حجم النواة (V)	$V_X = \frac{4}{3}\pi r_0{}^3 A_X$	$V_Y = \frac{4}{3}\pi r_0{}^3 A_Y$	$\frac{V_X}{V_Y} = \frac{A_X}{A_Y}$
كثافة النواة (ρ)	$\rho_X = \frac{m_X}{V_X}$	$\rho_Y = \frac{m_Y}{V_Y}$	$\frac{\rho_X}{\rho_Y} = 1$
عمر النصف $(t_{1/2})$	$t_{1/2}(X) = \frac{ln(2)}{\lambda_X}$	$t_{1/2}(Y) = \frac{ln(2)}{\lambda_Y}$	$\frac{t_{1/2}(X)}{t_{1/2}(Y)} = \frac{\lambda_Y}{\lambda_X}$

حيث : (r_0) : ثابت يساوي تقريبًا $1.2 \times 10^{-15} m$

(m_{nuc}) : متوسط كتلة النيوكليون وتساوي تقريبًا $(1.66 \times 10^{-27} Kg)$.

(ρ) : متوسط كثافة النواة وتساوي تقريبًا $(2.3 \times 10^{17}\ kg/m^3)$

^A_ZX

$A = Z + N$

حيث : (Z) :العدد الذري ويمثل عدد البروتونات أي شحنة النواة

(N): عدد النيوترونات

(A): العدد الكتلي وهو مجموع البروتونات والنيوترونات

$q = Ze$

حيث : (q) شحنة النواة

$E = \Delta\, mc^2$, J

حيث : (c) : سرعة الضوء في الفراغ $c = 3\times10^8\, m/s$

$(\Delta\, m)$: تمثّل التغيّر في كتلة الجسم بوحدة kg

$1\ amu = 1.660539 \times 10^{-27}$kg

$E = \Delta m \times 931.5$, MeV

$BE = \Delta m \times 931.5 = (Z\, m_p + N\, m_n - M) \times 931.5$

حيث: (BE) : طاقة الربط للنواة

(Δm): التغيّر في كتلة الجسم بوحدة amu

$\Delta m = (Z\, m_p + N\, m_n - M)$, Kg or amu

حيث : (M) : كتلة النواة

(m_p) : كتلة البروتون

(m_n) : كتلة النيوترون

$\frac{BE}{A}$ = طاقة كل نيوكليون , $BE = \frac{BE}{A} \times A$, (MeV)

$N_0 \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{N_0}{2} \xrightarrow{2t_{1/2}} \frac{N_0}{4} \xrightarrow{3t_{1/2}} \frac{N_0}{8} \xrightarrow{4t_{1/2}} \frac{N_0}{16}$

$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$

$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$

$A_0 = \lambda N_0$, Bq

حيث (A) النشاطية الإشعاعية وتقاس بوحدة البيكرل (Bq) ، و (N) عدد النوى ، و (λ) ثابت الاضمحلال ويقاس بوحدة (s^{-1}) ، و$(t_{1/2})$ عمر النصف اللازم لاضمحلال نصف النوى

$1Ci=3.7\times10^{10}$ Bq

$A_0 \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{A_0}{2} \xrightarrow{2t_{1/2}} \frac{A_0}{4} \xrightarrow{3t_{1/2}} \frac{A_0}{8} \xrightarrow{4t_{1/2}} \frac{A_0}{16}$

$\frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$

$$a + X \rightarrow b + Y$$

$Q = [m_a + m_X - (m_b + m_Y)] \times 931.5$, MeV

Q : الطاقة الممتَصّة أو المتحرّرة من التفاعل (موجبة يكون التفاعل **منتجًا للطاقة** Exoergic ، وإذا كانت قيمة (Q) سالبة يكون التفاعل **ماصًّا للطاقة** Endoergic.

تفاعلٌ نوويٌّ يحدث عند اصطدام نواتي ذرتين، أو اصطدام جُسيم نووي مثل، البروتون أو النيوترون بنواة ذرة أخرى، وقد ينتج عن ذلك نواة جديدة أو أكثر.

$$\alpha + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{18}_{9}F \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}P$$

${}^{18}_{9}F$ نواة مركّبة

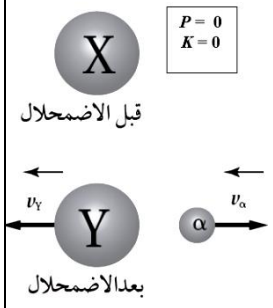
الانشطار النووي : التفاعل الذي يتم فيه انقسام نواة ثقيلة لنواتين أو أكثر، أصغر منها في الكتلة.

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

${}^{236}_{92}U^*$ نواة مركّبة

الاندماج النوويّ: التفاعل الذي تندمج فيه نواتان خفيفتان لتكوين نواة كتلتها أقلّ من مجموع كتلتي النواتين المندمجتين، ولها طاقة ربط نووية لكل نيوكليون أكبر ممّا لهما.

$${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$$
$${}^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{2}_{1}H + {}^{0}_{+1}e + \nu$$
$${}^{1}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + \gamma$$



${}^{232}_{Z}X \rightarrow {}^{228}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha$

معادلة حفظ الزخم الخطي:

$$\sum p_i = \sum p_f$$
$$p_X = p_Y + p_\alpha$$
$$0 = -m_Y v_Y + m_\alpha v_\alpha \rightarrow m_Y v_Y = m_\alpha v_\alpha$$

الطاقة الحركية والنسبة لهما بعد التصادم

$$\frac{K_\alpha}{K_Y}=\frac{\frac{1}{2}\frac{(m_Y\,v_Y)^2}{m_\alpha}}{\frac{1}{2}m_Y\,{v_Y}^2}=\frac{m_Y}{m_\alpha}=\frac{228}{4}=57\ \rightarrow K_\alpha=57\,K_Y$$

الجدول التالي يبين بعض أنواع الاضمحلالات وتحلل البروتون والنيوترون.

اضمحلال ألفا	${}^{A}_{Z}X\ \rightarrow\ {}^{A-4}_{Z-2}Y\ +\ {}^{4}_{2}He$
اضمحلال بيتا	${}^{A}_{Z}X\ \rightarrow\ {}_{Z+1}{}^{A}Y\ +\ {}^{0}_{-1}e+\bar{\upsilon}$ ${}^{A}_{Z}X\ \rightarrow\ {}_{Z-1}{}^{A}Y\ +\ {}^{0}_{+1}e+\boldsymbol{\nu}$
اضمحلال غاما	${}^{A}_{Z}X^{*}\ \rightarrow\ {}^{A}_{Z}X+\gamma$
تحلل البروتون	${}^{1}_{1}p\ \rightarrow\ {}^{1}_{0}n\ +\ {}^{0}_{+1}e+\boldsymbol{\nu}$
تحلل النيوترون	${}^{1}_{0}n\ \rightarrow\ {}^{1}_{+1}p\ +\ {}^{0}_{-1}e+\bar{\upsilon}$

الجدول التالي خاص باضمحلال الفا $({}^{4}_{2}He)$ ومعادلة الزخم الخطي للنواتج ، ونسب الطاقة الحركية للنواتج ،على اعتبار أن النظام مغلق والجسمان تحركا باتجاه معاكس لبعضهما البعض ،والنواة الأصلية (X) كانت ساكنة عند حدوث الاضمحلال.

	معادلة الزخم الخطي	نسبة الزخم	نسبة الطاقة الحركية
اضمحلال ألفا ${}^{A}_{Z}X\ \rightarrow\ {}^{A-4}_{Z-2}Y\ +\ {}^{4}_{2}He$	$m_Y\,v_Y=m_\alpha\,v_\alpha$	$\frac{P_\alpha}{P_Y}=1$	$\frac{K_\alpha}{K_Y}=\frac{m_Y}{m_\alpha}=\frac{A-4}{4}$

العلاقة التالية تبين النسبة لعمر النصف لعنصرين :

$$t_{1/2}(x)=\frac{ln(2)}{\lambda_x}$$

$$t_{1/2}(y)=\frac{ln(2)}{\lambda_y}$$

$$\frac{t_{1/2}(x)}{t_{1/2}(y)}=\frac{\frac{ln(2)}{\lambda_x}}{\frac{ln(2)}{\lambda_y}}=\frac{\frac{1}{\lambda_x}}{\frac{1}{\lambda_y}}=\frac{\lambda_y}{\lambda_x}$$

$$\frac{t_{1/2}(x)}{t_{1/2}(y)}=\frac{\lambda_y}{\lambda_x}$$