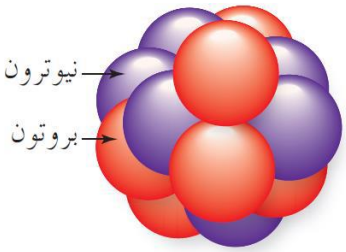
الدرس الأول

تركيب النواة وخصائصها

مقدمة

درسنا في الوحدة السابقة (الفيزياء الحديثة) تركيب الذرة وخصائصها وفي هذه الوحدة سوف ندرس النواة

1 بنية النواة



تتكون النواة من
1. بروتونات (موجبة الشحنة)
2. نيوترونات (متعادلة الشحنة)

- **العدد الذري** : هو عدد البروتونات داخل النواة ويرمز له بالحرف(Z)
- **العدد الكتلي** : هو عدد البروتونات والنيوترونات معاً داخل النواة ويرمز له بالحرف (A)
- **النيوكليونات** : اسم يطلق على كل من البروتونات والنيوترونات ويرمز له بالحرف (A)
- أي نواة يرمز لها برمز كما يلي:

$$^{A}_{Z}X$$

حيث (X) رمز العنصر و (A) العدد الكتلي و (Z) العدد الذري

أمثلة ==> $^{12}_{6}C$, $^{1}_{1}H$, $^{16}_{8}O$, $^{7}_{3}Li$

ملاحظات هامة...

(1) في الذرة المتعادلة عدد الإلكترونات حول النواة = عدد البروتونات = العدد الذري
(2) في الذرة المتعادلة شحنة النواة الموجبة تساوي شحنة الإلكترونات السالبة
(3) بالرغم من أن حجم النواة أصغر بكثير من حجم الذرة إلا ان معظم كتلة الذرة تتركز في النواة
(4) العدد الذري يعبر عن شحنة النواة
(5) العدد الكتلي يعبر عن كتلة النواة
(6) يعد العدد الذري صفة مميزة للعنصر لذلك لا يوجد عنصراً مختلفان في الطبيعة لهما العدد الذري نفسه
(7) عدد النيوترونات في النواة يحسب من القانون التالي

$$N = A - Z$$

النظائر

هي ذرات لها نفس العدد الذري، ولكن تختلف في العدد الكتلي

مثال عليها الكربون $\left(^{12}_{6}C \ , \ ^{14}_{6}C\right)$

ملاحظة: تختلف النظائر عن بعضها البعض في عدد النيوترونات وتتشابه في عدد البروتونات

◈ وحدة الكتلة الذرية (amu)

نظرا إلى صغر كتلة النوى فإن وحدة الكيلوغرام غير مناسبة للتعبير عن كتلتها لذلك عُرفت وحدة كتلة جديدة تتناسب مع كتل النوى تسمى وحدة الكتلة الذرية (amu) وتساوي $\left(\frac{1}{12}\right)$ من كتلة نظير الكربون 12 $\left({}^{12}_{6}C\right)$

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

والجدول التالي يبين كتلة الجسيمات النووية والإلكترون بوحدة الكيلوغرام ووحدة الكتل الذرية

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

لاحظ أن كتلة البروتون قريبة جدا من كتلة النيوترون

◈ خصائص النواة

- **شكل النواة** : كروية تقريباً
- **نصف قطر النواة**: يمكن حساب نصف قطر النواة من القانون التالي

$$r = r_0 \sqrt[3]{A}$$

- **حجم النواة** : يمكن حسابه من القانون التالي

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

- **كتلة النواة** : يمكن حساب كتلة النواة من القانون التالي

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

- **كثافة النواة**

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_{nuc}A}{\frac{4}{3}\pi r_0^3 A} = \frac{m_{nuc}}{\frac{4}{3}\pi r_0^3} = 2.3 \times 10^{17}\, kg/m^3$$

ملاحظات هامة...

(1) الثوابت في القوانين السابقة هي $\left(r_0 = 1.2 \times 10^{-15} m\right)$ و $\left(m_{nuc} = 1.66 \times 10^{-27} kg\right)$

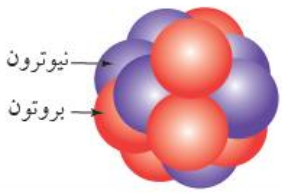
(2) كل الخصائص تعتمد على العدد الكتلي فقط إلا الكثافة لا تعتمد على شي فهي ثابتة

(3) قانون الكتلة يحسب كتلة تقريبية وليس كتلة النواة الحقيقية

(4) النواة موجبة الشحنة ويمكن حساب شحنتها من القانون

الشحنة الكهربائية = عدد البروتونات * شحنة البروتون

مثال (1)



يمثّل الشكل المجاور رسما تخطيطيا لنواة عنصر الكربون ورمزه C، حيث تمثّل الكرات الحمراء البروتونات، والكرات الزرقاء النيوترونات. باستخدام الشكل المجاور أجد ما يأتي: العدد الذريّ، الشحنة الكهربائية للنواة، عدد النيوترونات، العدد الكتلي، عدد النيوكليونات.

الحل:

العدد الذري = عدد البروتونات = 6

الشحنة الكهربائية = عدد البروتونات * شحنة البروتون

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

عدد النيوترونات = 6

العدد الكتلي = عدد النيوكليونات = عدد البروتونات + عدد النيوترونات = 12

مثال (2)

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

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

الحل:

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)

نواة الألمنيوم رمزها الكيميائي $\left({}^{27}_{13}Al\right)$ جد كلاً مما يأتي:

(1) كتلة النواة

(2) نصف قطر النواة

(3) حجم النواة

(4) كثافة النواة

الحل:

(1) $m = m_{nuc} \times A = \left(1.66 \times 10^{-27}\right)(27) = 44.82 \times 10^{-27} kg$

(2) $r = r_o \sqrt[3]{A} = \left(1.2 \times 10^{-15}\right)\left(\sqrt[3]{27}\right) = 3.6 \times 10^{-15} m$

(3) $r = \frac{4}{3}\pi r = \frac{4}{3}\pi r_0^3 A = \frac{4}{3}\pi\left(1.2 \times 10^{-15}\right)^3 (27) = 195.43 \times 10^{-45} m^3$

(4) $\rho = \frac{m}{V} = 2.3 \times 10^{17} kg / m^3$

مثال (4)

اختر رمز الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1- إنّ حجم النواة يتناسب:

أ) طرديًّا مع عددها الكتلي. ب) عكسيًّا مع عددها الكتلي.

ج) طرديًّا مع مكعب عددها الكتلي. د) طرديًّا مع الجذر التكعيبي لعددها الكتلي

2- إنّ نصف قطر النواة يتناسب:

أ) طرديًّا مع عددها الكتلي. ب) عكسيًّا مع عددها الكتلي.

ج) طرديًّا مع مكعب عددها الكتلي. د) طرديًّا مع الجذر التكعيبي لعددها الكتلي

3- نسبة نصف قطر النواة $\left({}^{27}_{13}Al\right)$ إلى نصف قطر النواة $\left({}^{64}_{29}Cu\right)$ تساوي

أ) $\frac{3}{4}$ ب) $\frac{27}{64}$ ج) $\frac{8}{3}$ د) $\frac{64}{27}$

4- نسبة حجم النواة $\left({}^{27}_{13}Al\right)$ إلى حجم النواة $\left({}^{64}_{29}Cu\right)$ تساوي

أ) $\frac{3}{4}$ ب) $\frac{27}{64}$ ج) $\frac{8}{3}$ د) $\frac{64}{27}$

مثال (5)

أجد نسبة نصف قطر النواة ${}^{A}_{Z_1}X$ إلى نصف قطر النواة ${}^{8A}_{Z_2}Y$

الحل:

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

مثال (6)

النواة (X) لها ثمانية أضعاف العدد الكتلي للنواة (Y). أجد نسبة:

أ . نصف قطر النواة (X) إلى نصف قطر النواة (Y)

ب. حجم النواة (X) إلى حجم النواة (Y)

ج. كثافة النواة (X) إلى كثافة النواة (Y)

الحل:

المعطيات : $A_X=8A_Y$

أ)

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

ب)

$$\frac{V_X}{V_Y}=\frac{\frac{4\pi}{3}r_0^3A_X}{\frac{4\pi}{3}r_0^3A_Y}=\frac{8A_Y}{A_y}=\frac{8}{1}=8$$

ج)

$$\frac{\rho_X}{\rho_Y}=\frac{2.3\times10^{17}}{2.3\times10^{17}}=1$$

مثال (7)

اعتمادا على ما تعلمته عن بنية النواة وحجمها أجب عن الأسئلة الأتية :

1) احسب نصف قطر نواة عنصر عدده الكتلي =(8)

2) ما عدد البروتونات و الإلكترونات في ذرة $^{9}_{4}Be$ المتعادلة

الحل

1)

$$r = r_0 \times \sqrt[3]{A} = \left(1.2\times10^{-15}\right)\left(\sqrt[3]{8}\right) = 2.4\times10^{-15}\,\text{m}$$

2) عدد البروتونات = عدد الإلكترونات = 4

مثال (8)

ذرة عددها الذري (13) وعدد النيوترونات في نوتها (14)

1) احسب نصف قطر نواة هذه الذرة

2) هل هذه النواة مستقرة ؟ولماذا

الحل

1)

$$r = r_0 \times \sqrt[3]{A} = \left(1.2\times10^{-15}\right)\left(\sqrt[3]{27}\right) = 3.6\times10^{-15}\,\text{m}$$

2) نعم وذلك لإن عددها الذري اقل من 20 وعدد النيوترونات فيها أكثر من عدد البروتونات.

◈ الأسئلة النظرية

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

الحل:

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

هل تزداد كثافة النواة بزيادة العدد الكتلي أم تبقى ثابتة؟ فسّر اجابتك

الحل:

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

وضّح المقصود بما يأتي: العدد الذري، العدد الكتلي، النيوكليون

الحل:

العدد الذري: عدد البروتونات في النواة.

العدد الكتلي: مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في النواة.

النيوكليون: أسم يطلق على كل من البروتون والنيوترون.

معلومة إضافية : لو افترضنا أنّ الأرض مصنوعة من مادّة نووية فقط (نيوكليونات)، لكانت كرة نصف قطرها تقريبًا 180m فقط وذلك لإن كثافة المادة النووية كبيرة جداً

2 نطاق الاستقرار

☑ مقدمة

تؤثر البروتونات داخل النواة بعضها في بعض بقوة تنافر كهربائيّة. ولو كانت قوة التنافر الكهربائية هي القوة الوحيدة التي تؤثر في البروتونات، لانفصلت وابتعد بعضها عن بعض، لذلك لا بد من وجود قوة تجاذب بين مكونات النواة

◈ القوة النووية القوية

تحتوي النواة على قوتين هما : (1) قوة تنافر كهربائية (بين البروتونات فقط)

(2) قوة تجاذب نووية (بين أي نيوكليونين)

خصائص القوة النووية (1) قوة تجاذب (2) مقدارها كبيرة جداً

(3) مداها صغير جدا (4) تتكون بين أي نيوكليونين

ملاحظات هامة...

(1) القوة النووية لا تعتمد على الشحنة الكهربائية

(2) تؤثر القوة النووية في النيوكليونات إذا كانت المسافة بينهما اقل من (3fermi) والتي تكافئ $(3\times10^{-15}m)$

(3) تنشئ القوة النووية بين أي نيوكليونين (بروتون – بروتون) ، (بروتون – نيوترون) ، (نيوترون – نيوترون)

◈ أنواع النواة

يمكن تقسيم النواة من حيث استقرارها إلى نوعين

(1) نواة مستقرة : نواة تبقى على حالها مع مرور الزمن (لا تتغير)

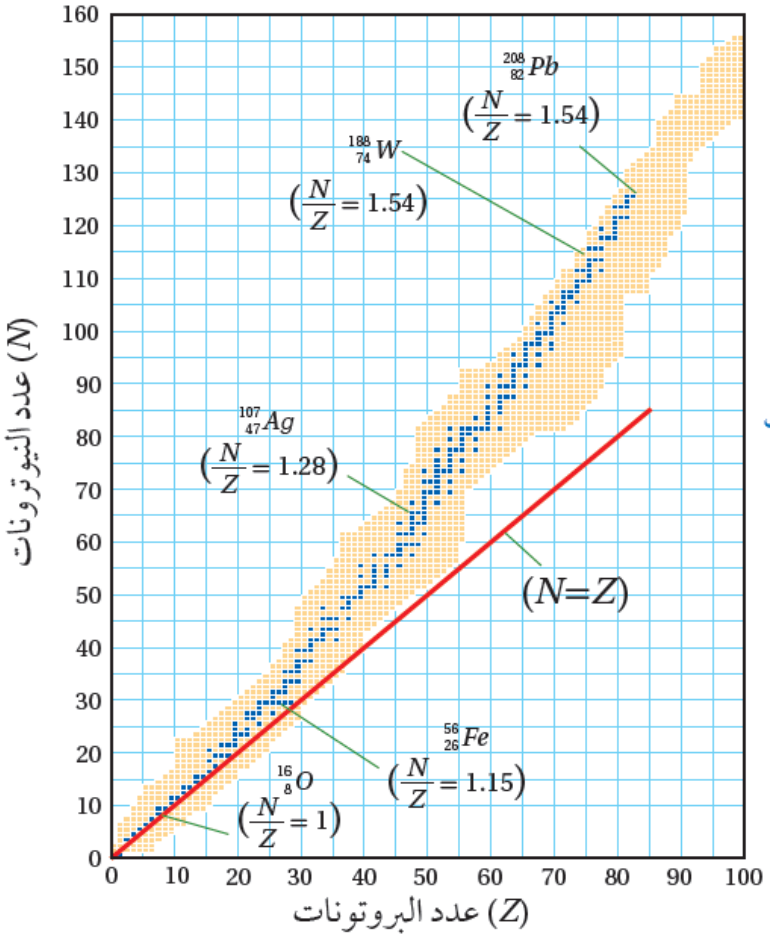
(2) نواة غير مستقرة : تتحول إلى نواة أخرى بمرور الزمن عن طريق إشعاع طاقة أو جسيمات نووية

◈ أهمية عدد النيوترونات في استقرار النواة

تلعب النيوترونات دوراً مهما في استقرار النواة حيث ان زيادة عدد النيوترونات تزيد من القوة النووية (قوة التجاذب) ولا تزيد من القوة الكهربائية (قوة التنافر) ولذلك اهتم العلماء بدراسة نسبة عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات $\left(\frac{N}{Z}\right)$ للعناصر في الطبيعة، وقد توصل العلماء إلى النتائج التالية

	العدد الذري	النسبة	ملاحظة
نواة مستقرة	$Z<20$	$\frac{N}{Z}=1$	عدد البروتونات يساوى عدد النيوترونات
	$20<Z\leq82$	$\frac{N}{Z}>1$	عدد النيوترونات أكبر من عدد البروتونات
نواة غير مستقرة	$Z>82$		

عند وضع جميع الانوية التي نعرفها في الطبيعة على منحى (N-Z) نحصل على الرسم البياني التالي:



حيث إن النقاط الزرقاء تمثل النوى المستقرة والنقاط الصفراء تمثل النواة غير المستقرة، إن النطاق الذي تقع فيه النوى المستقرة يسمى **نطاق الاستقرار**

ملاحظات هامة...

(1) لا يمكن لنواة تحتوي على البروتونات فقط (باستثناء ذرة الهيدروجين التي تتكوّن نواتها من بروتون واحد فقط) أن تكون مستقرة

(2) بعض الانوية التي عددها الذري اقل من 20 يمكن ان تحتوي على نيوترونات أكثر من البروتونات مثل $^{7}_{3}Li$

(3) كلما زاد العدد الذري تزداد نسبة $\left(\frac{N}{Z}\right)$ لتبقى النواة مستقرة للعناصر التي تمتلك عدد ذري $20 < Z < 83$

(4) لا يوجد نوى مستقرة عددها الذري $(Z \geq 83)$ لأنّ عدد البروتونات يصبح كبيرًا، فتزداد قوة التنافر الكهربائية إلى حدٍّ يؤدي إلى عدم استقرار النواة.

(5) اعلى قيمة للنسبة $\left(\frac{N}{Z}\right)$ هي 1.54 كما يبين الرسم البياني

◈ الأسئلة النظرية

السؤال: عدد أنواع القوى الموجودة داخل النواة

الجواب: (1) قوة نووية قوية (2) قوة كهربائية

السؤال: بين أهمية النيوترونات في استقرار النواة

الجواب:

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.

السؤال: لماذا الانوية التي عددها الذري أكبر من (82) تكون غير مستقرة مهما زدنا في عدد نيوتروناتها

الجواب: في هذه الانوية تكون القوة الكهربائية كبيرة جداً وعند إضافة نيوترونات إلى النواة تزداد القوة النووية ولكن بكمية صغيرة جدا لإن مداها قصير بحيث لا تؤثر إلى في النيوكليونات القريبة منها فقط

السؤال: أيّهما أكبر القوة النووية المؤثرة في نيوكليون موجود على سطح النواة أم المؤثّرة في نيوكليون موجود داخل النواة؟

الجواب:

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

السؤال: ما نسبة $\frac{N}{Z}$ التي تستقرّ عندها النوى التي يقلّ عددها الذري عن 20

الجواب:

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

السؤال: وضّح المقصود بنطاق الاستقرار

الحل:

نطاق الاستقرار: النطاق التي تقع ضمنه النوى المستقرة في منحنى (Z-N)

أيّ النواتين الآتيتين مستقر، وأيّهما غير مستقر، مع بيان السبب:

$^{24}_{12}Mg$ ، $^{238}_{92}U$

الحل:

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

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

3 طاقة الربط النووية

◈ مقدمة

وجد العلماء ان كتلة النواة تكون دائماً اقل من كتلة مكونتها (البروتونات والنيوترونات) وتمكنوا من تفسير هذا النقص باستخدام معادلة اينشتاين لتكافؤ الكتلة والطاقة

التعريف

طاقة الربط النووية : هي الطاقة اللازمة لفصل مكونات النواة عن بعضها نهائياً

◈ معادلة اينشتاين لتكافؤ الكتلة – الطاقة

وجد اينشتين أن الكتلة يمكن ان تتحول إلى طاقة مقدارها يعطى بالقانون التالي

$$E_{(J)} = \Delta m_{(Kg)} \times c^2$$

$$E_{(MeV)} = \Delta m_{(amu)} \times 931.5$$

ملاحظات هامة...

(1) نستنتج من المعادلة السابقة ان الكتلة هي مقياس لمحتوى الجسم من الطاقة
(2) أي تغير في كتلة الجسم يتحول إلى طاقة باستخدام المعادلة السابقة
(3) يمكن ملاحظة تغيرات الكتلة على المستوى الذري ودون الذري
(4) عند دراسة الجسيمات الذرية ودون الذرية لا بد من تطبيق مبدأ حفظ الطاقة – الكتلة السابق بدلا من مبدأ حفظ الطاقة فقط.

ولحساب طاقة الربط النووية لا بد بداية من حساب مقدار الفرق في الكتلة بين كتلة النواة ومكونتاها من خلال القانون التالي ثم نحسب مقدار الطاقة التي تكافئ هذا الفرق في الكتلة من خلال معادلة اينشتين

$$\Delta m = \left(Z m_p + N m_N\right) - M$$

حيث إن

m_p : كتلة البروتون m_N : كتلة النيوترون M : كتلة النواة

الان يمكن حساب طاقة الربط النووية

$$BE = \Delta m \times 931.5$$
$$= \left(\left(Z m_p + N m_N\right) - M\right) \times 931.5$$

ولحساب مقدار الطاقة التي يحصل عليها كل نيوكليون نقسم مقدار طاقة الربط النووية على العدد الكتلي كما يلي:

$$\frac{BE}{A}$$

ملاحظات هامة...

(1) كلّما زاد عدد النيوكليونات، زادت الطاقة اللازمة لفصلها، أيْ زادت طاقة الربط النووية.

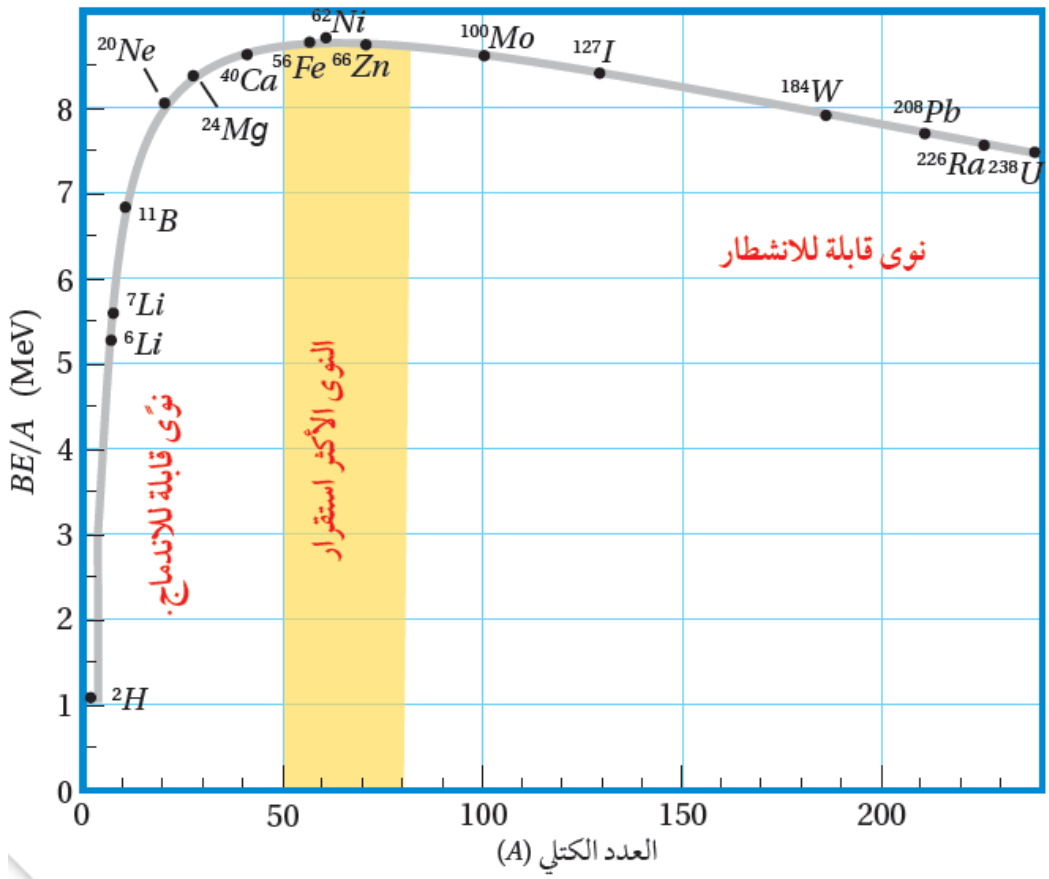
(2) وتُسمّى (BE / A) طاقة الربط النووية لكل نيوكليون

(3) تعد **طاقة الربط النووية لكل نيوكليون** مؤشراً لاستقرار النواة فكلما زاد مقدارها أصبحت الذرة أكثر استقراراً

(4) مجموع كتل مكوّنات النواة دائمًا أكبر من كتلة النواة.

◈ منحنى معدل طاقة الربط النووية – العدد الكتلي

يمثل الشكل التالي رسماً بيانياً للعلاقة بين العدد الكتلي للأنوية ومقدار طاقة الربط النووية لكل نيوكليون لكل نواة



ويمكن تقسم الانوية إلى ثلاث أنواع بناءا على عدد الكتلي

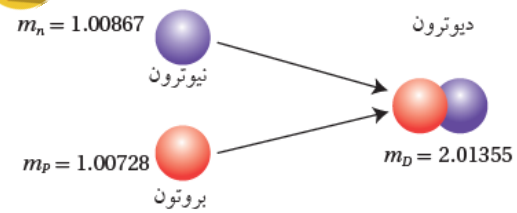
النوع	العدد الكتلي	الاستقرار
خفيفة	اقل من 50	تميل للاندماج لتكوين نواة أكثر استقراراً
متوسطة	بين 50 و 80	الأكثر استقراراً
ثقيلة	أكبر من 80	تميل للإنشطار لتكوين نواتين أكثر استقراراً

ملاحظة: بالاعتماد على المنحنى السابق نجد انه كلما اقترب العدد الكتلي للنوى من الرقم (62) زاد مقدار طاقة الربط النووية لكل نيوكليون وهذا يعني زيادة مقدار استقرار النواة

إن طاقة الربط النوويّة لكل نيوكليون تتغير بمقدار قليل مع زيادة العدد الكتلي للنوى التي عددها الكتلي (A > 60). ويعزى ذلك إلى أن القوة النووية قصيرة المدى، بمعنى أن النيوكليون داخل النواة يتجاذب مع النيوكليونات المحيطة به فقط، ولا يتأثر ببقية النيوكليونات وهذا ما يعرف بإشباع القوة النووية القوية.

مثال (1)

تُسمّى نواة الديتيريوم بالديوترون $\left({}_1^2H = D\right)$ وتتكوّن من بروتون ونيوترون كما في الشكل المجاور، أحسب فرق الكتلة بين كتلة الديوترون ومجموع كتلتي البروتون والنيوترون، ثم أحسب الطاقة المكافئة لها، معتمدًا على الجدول الآتي:



الجسيم أو النواة	الكتلة (amu)
m_p	1.00728
m_n	1.00867
m_D	2.01355

الحل:

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

$$BE = \Delta m \times 931.5 = 2.2356\,MeV$$

مثال (2)

إذا كان فرق الكتلة بين كتلة نواة $\left({}_{82}^{208}Pb\right)$ وكتلة مكونتها يساوي $\left(2.9\times10^{-27}\,kg\right)$، احسب طاقة الربط النووية للنواة بوحدة الجول والمليون إلكترون فولت

الحل:

بوحدة الجول:

$$BE = \Delta m c^2 = \left(2.9\times10^{-27}\right)\left(3\times10^{8}\right) = 2.61\times10^{-10}\ \text{J}$$

بوحدة المليون إلكترون فولت

نحول الطاقة من الجول إلى الإلكترون فولت

$$BE = \frac{2.61\times10^{-10}}{1.6\times10^{-19}} = 1.631\times10^{9}\ \text{eV} = 1631\text{MeV}$$

ملاحظة: في البداية حولنا إلى وحدة الإلكترون فولت ثم قسمنا على مليون لتحويلها إلى مليون إلكترون فولت

مثال (3)

أجد طاقة الربط النووية وطاقة الربط النووية لكلّ نيوكليون لنواة كلٍّ من (الرصاص $\left({}^{206}_{82}Pb\right)$ والليثيوم $\left({}^{7}_{3}Li\right)$) علماً أن كتلة النوى مرفقة في الجدول الاتي:

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

الحل:

$$BE(Pb)=\left(Zm_p+N\times m_n-M\right)\times 931.5$$
$$=\left(82\times 1.00728+124\times 1.00867-205.92945\right)\times 931.5$$
$$=1.74259\times 931.5=1623.22\,\text{MeV}$$
$$\frac{BE(Pb)}{A}=\frac{1623.22}{206}=7.819\,\text{MeV}$$

$$BE(Li)=\left(Zm_p+N\times m_n-M\right)\times 931.5$$
$$=\left(3\times 1.00728+4\times 1.00867-7.01436\right)\times 931.5$$
$$=0.04216\times 931.5=39.272\,\text{MeV}$$
$$\frac{BE(Li)}{A}=\frac{39.272}{7}=5.61\text{MeV}$$

مثال (4)

يمثّل الجدول الآتي: طاقة الربط النووية والعدد الكتلي لبعض النوى، فأيّ النوى أكثر استقرارًا ؟فسّر اجابتك

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

الحل:

لمعرفة أي النواة أكثر استقرار نجد مقدار طاقة الربط النووية لكل نيوكليون لكل نواة

$$\frac{BE(X)}{A}=\frac{1600}{200}=8$$
$$\frac{BE(Y)}{A}=\frac{492}{56}=8.756$$
$$\frac{BE(Z)}{A}=\frac{28}{4}=7$$

العنصر Y هو الأكثر استقرار لإنه يمتلك أكبر طاقة ربط نووية لكل نيوكليون

مثال (5)

إذا كانت طاقة الربط النووية لنواة $\left({}^{23}_{11}Na\right)$ تساوي $(186.66\,\text{MeV})$ ولنواة $\left({}^{23}_{12}Mg\right)$ تساوي $(181.82\,\text{MeV})$

أ . أحسب طاقة الربط النوويّة لكل نيوكليون للنواتين.

ب. أيّ النواتين أكثر استقرارًا؟ فسر اجابتك

الحل:

أ)

$$\frac{BE(Na)}{A}=\frac{186.66}{23}=8.12\,\text{MeV}$$

$$\frac{BE(Mg)}{A}=\frac{186.66}{23}=7.91\text{MeV}$$

ب) النواة $\left({}^{23}_{11}Na\right)$ أكثر استقرارا لإن **طاقة الربط النووية لكل نيوكليون** أكبر

مثال (6)

إذا كانت طاقة الربط النوويّة لكل نيوكليون لنواة الفوسفور $\left({}^{30}_{15}P\right)$ تساوي (8.35MeV) جد ما يلي:

أ) طاقة الربط النووية لنواة الفسفور $\left({}^{30}_{15}P\right)$

ب) كتلة نواة الفسفور $\left({}^{30}_{15}P\right)$

الحل:

أ)

$$\frac{BE}{A}=8.35$$

$$\frac{BE}{30}=8.35\ \Longrightarrow\ BE=250.5\ \text{MeV}$$

ب)

$$\Delta m=\frac{BE}{931.5}=0.2689\,amu$$

$$\Delta m=Zm_p+m_n-M$$

$$0.2689=15\times1.00728+15\times1.00867-M$$

$$M=29.9703\,amu$$

مثال (7)

إذا كان الفرق بين كتلة نواة ومجموع كتل مكوّناتها يساوي $(1.64\times10^{-28}kg)$ أجد طاقة الربط النوويّة للنواة بوحدة جول.

الحل:

$$E=\Delta mc^2$$
$$E=(1.64\times10^{-28})(3\times10^{8})^2$$
$$E=1.476\times10^{-11}\,\mathrm{J}$$

مثال (8)

أحسب الطاقة اللازمة لفصل نواة النيكل $(^{60}_{28}Ni)$ إلى مكوناتها، علما أن كتلة نواة النيكل $(^{60}_{28}Ni)$ تساوي $(59.91541\ amu)$

الحل:

$$BE=(Zm_p+N\times m_n-M)\times931.5$$
$$=(28\times1.00728+32\times1.00867-59.91541)\times931.5$$
$$=0.56587\times931.5=527.1\mathrm{MeV}$$

مثال (9)

يمثّل الرسم البياني المبيَّن في الشكل منحنى الاستقرار النوويّ.

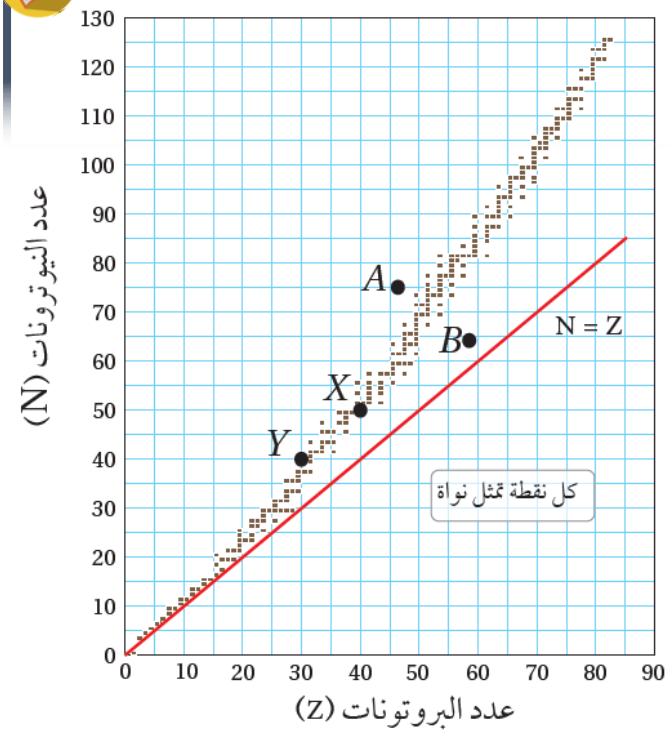
أ . أحسب نصف قطر النواة (X)

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

ج. أيُّهما يملك طاقة ربط نوويّة لكل نيوكليون أعلى (X)ام (Y)

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

هـ. سمّي من الشكل نواتين مستقرتين ونواتين غير مستقرتين.



الحل:

أ)

$$r=r_0\sqrt[3]{A}=1.2\times10^{-15}\times\sqrt[3]{90}=5.4\times10^{-15}m$$

ب)

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_y$$
$$= 30 \times 1.00728 + 40 \times 1.00867 - 70.0012$$
$$= 0.5640\, amu$$
$$BE = 0.564 \times 931.5 = 525.37 \text{ MeV}$$

ج) النواة (Y) تملك طاقة ربط لكل نيوكليون أعلى لأن عددها الكتلي أقرب للعدد الكتلي (60)

د) 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

هـ) (Y) , (X) نواتان مستقرتان (B) , (A) نواتان غير مستقرتان

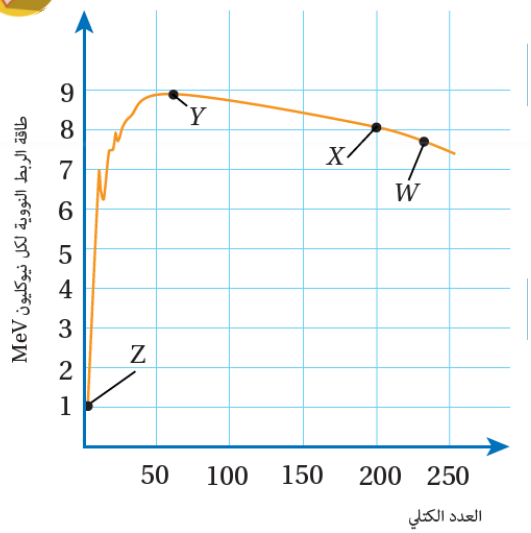
مثال (10)

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:

أ . أيّ هذه العناصر أكثر استقرارًا ؟ ولماذا؟

ب. أيّ هذه العناصر أكثر قابليّة للانشطار، وأيّها أكثر قابليّة للاندماج عند إحداث تفاعل نووي؟

ج. أحسب طاقة الربط النووية لنواة العنصر (X)



الحل:

أ)

العنصر (Y) لإن له اكبر طاقة ربط نووي لكل نيوكليون

ب)

العنصر (W) أكثر قابلية للانشطار

العنصر (Z) أكثر قابلية للاندماج

ج)

$$\frac{BE}{A} = 8$$
$$\frac{BE}{200} = 8 \implies BE = 1600 \text{ MeV}$$

مثال (11)

إذا كان فرق الكتلة بين مجموع مكونات نواة الكربون ${}^{12}_{6}C$ وكتلة النواة يساوي $(0.096amu)$ وإذا علمت أن $(m_p = 1.0073amu \quad , \quad m_n = 1.0087amu)$ فاحسب:

1) كتلة نواة الكربون
2) الطاقة اللازمة لفصل بروتون واحد من هذه النواة

الحل

1)

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M_C$$
$$0.096 = (6 \times 1.0073 + 6 \times 1.0087) - M_C$$
$$0.096 = 12.096 - M_C$$
$$M_C = 12amu$$

2)

$$BE = \Delta m \times 931$$
$$= (0.096) \times 931 = 89.376\,\text{MeV}$$
$$\Rightarrow \frac{BE}{A} = \frac{89.376}{12} = 7.448\,\text{MeV}$$

◈ الأسئلة النظرية

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؟ فسر اجابتك

الحل:

بما أن طاقة الربط النووية لكل نيوكليون لا تتغير كثيرا، فهذا يعني أن إضافة نيوكليونات جديدة للنواة لا يؤثر كثيرا 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.

أيّ النوى أكثر استقرارًا؟

الحل:

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

وضّح المقصود بطاقة الربط النووية

الحل:

طاقة الربط النووية: الطاقة التي يجب تزويدها للنواة لفصل مكوناتها (النيوكليونات) عن بعضها نهائياً.

علل: كتلة النواة دائماً اقل من مجموع كتلة مكونتها

الحل

وذلك لإن جزء من كتلة المكونات يتحول إلى طاقة ربط نووية

واجبات (اختبر نفسك)

السؤال الأول

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

الحل:

$$BE(Ni) = (Zm_p + N \times m_n - M) \times 931.5$$
$$= (28 \times 1.00728 + 34 \times 1.00867 - 61.91297) \times 931.5$$
$$= 0.58565 \times 931.5 = 545.53\,\text{MeV}$$
$$\frac{BE(Ni)}{A} = \frac{545.53}{62} = 8.798\,\text{MeV}$$

$$BE(Fe) = (Zm_p + N \times m_n - M) \times 931.5$$
$$= (26 \times 1.00728 + 30 \times 1.00867 - 55.92066) \times 931.5$$
$$= 0.52872 \times 931.5 = 492.50\,\text{MeV}$$
$$\frac{BE(Fe)}{A} = \frac{492.50}{56} = 8.794\,\text{MeV}$$

السؤال الثاني

انقل الجدول الاتي إلى دفتر إجابتك, واملأ الفراغات بالبيانات المناسبة ثم حدد أي النواتين يتطلب تفكيكها طاقة أكبر ولماذا ؟

النواة	العدد الكتلي (A)	Δك	طاقة الربط النووية/نيوكليون
X	40	0.32amu	..... مليون إلكترون فولت
Y	60	0.54amu	.....مليون إلكتون فولت

الحل

النواة	العدد الكتلي (A)	Δك	طاقة الربط النووية/نيوكليون
X	40	0.32amu	7.45 مليون إلكترون فولت
Y	60	0.54amu	8.38 مليون إلكترون فولت

النواة (Y) يتطلب تفكيكها طاقة أكبر، لأن طاقة الربط النووية لكل نيوكليون للنواة (Y) أكبر من النواة (X)

السؤال الثالث

إذا تولدت طاقة مقدارها $\left(22.5\times10^{25}\,\text{MeV}\right)$ من تفاعل نووي فاحسب النقص في كتلة الوقود النووي بالكيلوغرام

الحل

$$E=\Delta mc^2$$

$$\left(22.5\times10^{25}\right)\left(1.6\times10^{-19}\right)\left(10^6\right)=\Delta m\left(3\times10^8\right)^2$$

$$\Delta m=4\times10^{-4}\,kg$$

السؤال الرابع

احسب مقدار الطاقة التي يجب أن تزود بها نواة الديتيريوم $\left({}_1^2H\right)$ لفصل مكوناتها علما بإن :

$$M_H=2.0141amu \quad ,, \quad m_n=1.0087amu \quad ,, \quad m_P=1.0073amu$$

الحل

$$\Delta m=\left(Zm_p+Nm_n\right)-M_{Li}$$

$$\Delta m=\left(1\times1.0073+1\times1.0087\right)-2.0141$$

$$\Delta m=0.0019amu$$

$$BE=\Delta m\times931$$

$$=\left(0.0019\right)\times931=1.7689\,\text{MeV}$$

السؤال الخامس

في الجدول المجاور طاقة الربط النووية لثلاث أنوية اعتمادا على البيانات المبينة في الجدول أجب عما يأتي

1) أي الأنوية الاكثر استقرارا

2) احسب كتلة النواة $\left({}_2^4X\right)$

النواة	$\left({}_4^9Z\right)$	$\left({}_3^6Y\right)$	$\left({}_2^4X\right)$
طاقة الربط بوحدة MeV	58.5	33	28

الحل

1) العنصر (X) هو الأكثر إستقرار لإن طاقة الربط النووي لكل نيوكليون له هي الأكبر

2)

$$\Delta m=\left(Zm_p+Nm_n\right)-M$$

$$\frac{28}{931}=\left(2\times1.0073+2\times1.0087\right)-M$$

$$M=4.0019amu$$

السـؤال السادس

اختر رمز الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1- عدد النيوترونات في النوى المستقرّة الثقيلة يكون:

أ) مساويًا لعدد البروتونات
ب) أقلّ من عدد البروتونات
ج) أقلّ بكثير من عدد البروتونات
د) أكبر من عدد البروتونات

2- طاقة الربط النووية هي الطاقة اللازمة لِ:

أ) فصل مكوّنات النواة لتكون بعيدة بعضها عن بعض.
ب) فصل الإلكترونات عن النواة.
ج) فصل بروتون واحد عن النواة
د) فصل نيوترون واحد عن النواة

3- إذا كانت كتلة نواة نظير الليثيوم $\left({}^{7}_{3}Li\right)$ تقل بمقدار $\left(0.042\,amu\right)$ عن مجموع كتل مكوناتها فإن متوسط طاقة الربط النووية لكل نيوكليون $\left(\mathrm{MeV}\right)$ لها تساوي

أ) 3.910 ب) 5.589 ج) 1.412 د) 7.120

الدرس الثاني

الاشعاع النووي

مقدمة

اكتشف العالم بيكرل عام 1896 أنّ أملاح اليورانيوم تؤثّر في الألواح الفوتوغرافية، بالرغم من تغليفها لحمايتها من الضوء ومنعه من التأثير فيها، وخلص إلى أنّ أملاح اليورانيوم تبعث **تلقائيًا**، دون الحاجة إلى تحفيز خارجيّ، نوعًا جديدًا من الإشعاع. وفي نهاية القرن التاسع عشر، اكتشفت ماري كوري وزوجها بيير كوري عنصرين جديدين يُصدران نوعًا مماثلً للإشعاع الصادر عن أملاح اليورانيوم، وأطلقا عليهما اسمي البولونيوم والراديوم.

1 الاضمحلال الإشعاعيّ

التعريف

الاضمحلال الإشعاعي : 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.

الاشعة النووية

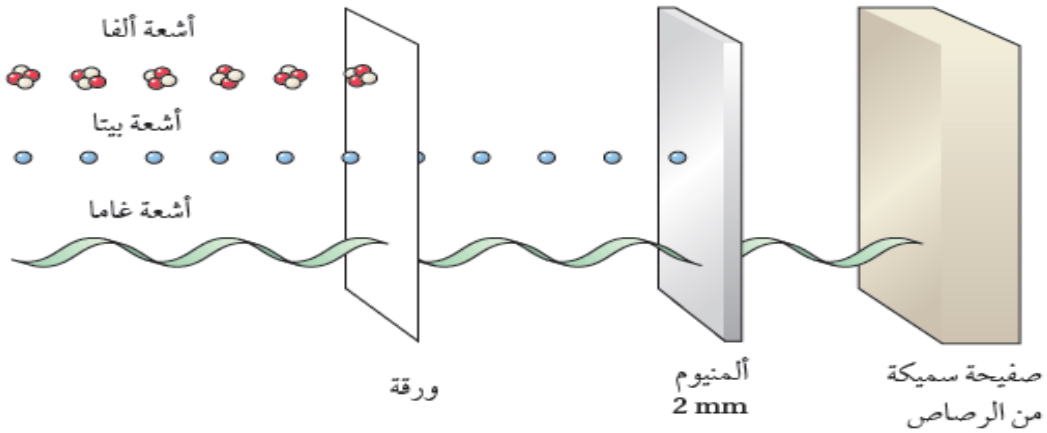
بينت التجارب ان هنالك ثلاثة أنواع من الاشعة النووية وهي **الفا وبيتا وغاما** الجدول التالي يبين الفروق بين هذه الاشعة

نوع الاشعة	الفا	بيتا		غاما
		بيتا السالبة	بيتا الموجبة	
التركيب	نواة هيليوم $^{4}_{2}He^{+2}$	إلكترون $^{0}_{-1}e$	بوزيترون $^{0}_{+1}e$	اشعة كهرومغناطيسية (فوتونات) ذات تردد عالي
الشحنة	+2e	-e	+e	ليس لها شحنة
الكتلة	4.0015amu	0.0005 amu		صفر
القدرة على النفاذ	قليلة (تُمتصّ باستخدام حاجز رقيق من الورق)	متوسطة (بضع ملمترات من الألمنيوم)		كبيرة (سنتمترات عدة من الرصاص)
القدرة على التأيين	كبيرة	متوسطة		قليلة

البوزيترون جُسيم له كتلة الإلكترون نفسها، لكنّه يحمل شحنة موجبة مساوية لشحنة الإلكترون

ملاحظات هامة...

(1) الإشعاعات النووية الثلاثة؛ ألفا وبيتا وغاما، تُعدّ جميعها من الإشعاعات النووية المؤيّنة
(2) كتلة جسيمات ألفا نحو أربعة أضعاف كتلة البروتون تقريبًا وشحنتها ضعفا شحنة البروتون
(3) في المتوسط، تعبر جسيمات ألفا في الهواء مسافة (3.7 cm) تقريبًا قبل أن تُمتصَّ طاقتها كاملة



سؤال: علل لجسيمات الفا قدرة عالية على التأين مقارنة ببيتا وغاما

الجواب إنّ كتلة جسيمات ألفا 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

سؤال: علل لماذا لجسيمات الفا قدرة قليلة على النفاذ اما اشعة غاما لها قدرة عالية على النفاذ

الجواب : لإن كتلة جسيمات الفا كبيرة جدا اما اشعة غاما ليس لها كتلة

سؤال: علل لماذا تمتلك اشعة غاما اقل قدرة على التأيين

الجواب : أشعة غاما هي الأقل قدرة على التأيين والأكثر قدرة على الاختراق؛ لأنّها لا تحمل شحنة كهربائية، وليس لها كتلة.

◈ معادلات الاضمحلال النووية

يطلق على انبعاث كلاً من الاشعة النووية السابقة اضمحلالا وفيما يلي تفصيل لكل من هذه الإضمحلالات

☑ اضمحلال الفا

جسيمات ألفا (α) **تنبعث في الغالب من النوى الثقيلة** (Z > 82) غير المستقرة، وينتج نواة جديدة تختلف في عددها الذري وعددها الكتلي عن النواة الأم، ويمكن التعبير عن هذا الانبعاث بالمعادلة التالية

$$^{A}_{Z}X \longrightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He$$

ملاحظات هامة...

(1) عندما تبعث النواة (X) جسيمات الفا فإنها تتحول إلى نواة جيدة (Y) بعد ان تخسر **بروتونين ونيوترونين**
(2) العدد الكتلي يقل بمقدر (4) والعدد الذري يقل بمقدار (2)
(3) لاحظ أن مجموع العدد الكتلي للنواتج يساوي العدد الكتلي للنواة الام وكذلك العدد الذري
(4) من الأمثلة على اضمحلال الفا

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

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

☑ اضمحلال بيتا

(1) جسيمات بيتا السالبة

إنّ النوى التي تقع فوق نطاق الاستقرار تمتلك فائضًا من النيوترونات، ويلزمها تقليل عدد النيوترونات وزيادة عدد البروتونات لتقترب نسبة $\left(\frac{N}{Z}\right)$ فيها من نسبة الاستقرار ويتم ذلك عن طريق إشعاع جسيم بيتا السالبة (β^-) حسب المعادلة التالية:

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

ملاحظات هامة...

(1) عندما تبعث النواة (X) جسيمات الفا السالبة فإنها تتحول إلى نواة جيدة (Y) بعد ان تخسر نيوترون وتكسب بروتون
(2) العدد الكتلي لا يتغير والعدد الذري يزيد بمقدار (1)
(3) لاحظ أن مجموع العدد الكتلي للنواتج يساوي العدد الكتلي للنواة الام وكذلك العدد الذري
(4) الرمز $(\bar{\nu})$ يمثّل جسيمًا يُسمّى ضديد النيوترينو، وهو جسيم متعادل الشحنة، وكتلته متناهية في الصغر.
(5) من الأمثلة على اضمحلال بيتا السالبة

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

(6) ينتج الإلكترون في المعادلة السابقة من تحلل نيوترون في النواة الام إلى بروتون وإلكترون كما في المعادلة التالية

$$ {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}P + {}^{0}_{-1}e + \overline{\nu} $$

(2) جسيمات بيتا الموجبة

النوى التي تقع أسفل نطاق الاستقرار، فإنّها تمتلك فائضًا من البروتونات، ولكي تصل إلى حالة الاستقرار يتطلّب ذلك تقليل عدد البروتونات وزيادة عدد من النيوترونات، ويتحقّق ذلك بإشعاع جسيم بيتا الموجبة (+ β) حسب المعادلة التالية:

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

ملاحظات هامة...

(1) عندما تبعث النواة (X) جسيمات الفا الموجبة فإنها تتحول إلى نواة جيدة (Y) بعد ان تكسب نيوترون وتخسر بروتون

(2) العدد الكتلي لا يتغير والعدد الذري يقل بمقدار (1)

(3) لاحظ أن مجموع العدد الكتلي للنواتج يساوي العدد الكتلي للنواة الام وكذلك العدد الذري

(4) الرمز (ν) يمثّل جسيمًا يُسمّى النيوترينو، وهو جسيم متعادل الشحنة، وكتلته متناهية في الصغر.

(5) من الأمثلة على اضمحلال بيتا الموجبة

$$ {}^{14}_{7}N \longrightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{0}_{+1}e + \nu $$

(6) ينتج البوزترون في المعادلة السابقة من تحلل بروتون في النواة الام إلى نيوترون وبوزيترون كما في المعادلة التالية

$$ {}^{1}_{1}P \longrightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{+1}e + \nu $$

☑ اضمحلال غاما

تعلّمتُ أنّ الإلكترونات تتوزّع في مستويات طاقة في الذرة، كذلك تتوزّع النيوكليونات في مستويات طاقة داخل النواة تبدأ من 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 فإذا كانت النواة الناتجة في مستوى إثارة، فإنّها قد تنتقل إلى مستوى الاستقرار عن طريق إطلاق أشعة غاما، ويمكن التعبير عن اضمحلال غاما بالمعادلة الآتية:

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

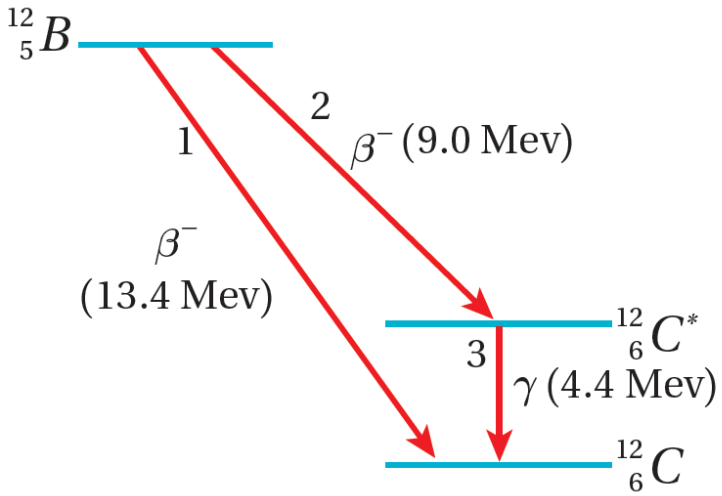
حيث ان

${}^{A}_{Z}X^{*}$ النواة في مستوى الاثارة

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

ملاحظات هامة...

(1) عندما تبعث النواة (X) اشعة غاما فإنها تبعث طاقة فقط ولا تتحول إلى عنصر جديد
(2) العدد الكتلي والذري لا يتغيران
(3) طاقة اشعة غاما تساوي الفرق في الطاقة بين مستويين الاثارة والاستقرار للنواة
(4) من الأمثلة على اضمحلال غاما تحول نواة البورون إلى كربون كما في الشكل التالي



في المثال السابق يتحول البورون إلى كربون عن طريق بعث جسيمات بيتا السالبة وهنالك احتمالان لحدوث ذلك

الاحتمال الأول :

ان يبعث البورون جسيم بيتا ويتحول إلى نواة كربون في مستوى الاستقرار

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

الاحتمال الثاني

ان يبعث جسيم بيتا السالب ويتحول إلى نواة كربون في مستوى اثارة ثم تبعث نواة الكربون اشعة غاما

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

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

مثال (1)

أُكمل المعادلات النوويّة الآتية:

$${}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}p + \underline{\quad\quad} + \underline{\quad\quad}$$

$${}^{1}_{1}p \longrightarrow {}^{1}_{0}n + \underline{\quad\quad} + \underline{\quad\quad}$$

$${}^{234}_{92}U \longrightarrow {}^{230}_{90}Th + \underline{\quad\quad}$$

$${}^{234}_{91}Pa^{*} \longrightarrow {}^{234}_{91}Pa + \underline{\quad\quad}$$

الحل:

$${}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$

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

$${}^{234}_{92}U \longrightarrow {}^{230}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

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

مثال (2)

أكمل المعادلات النووية الأتية :

$${}^{103}_{45}Rh + {}^{1}_{0}n \longrightarrow \ldots\ldots$$

$${}^{14}_{7}N \longrightarrow {}^{14}_{6}C + \ldots\ldots + \ldots\ldots$$

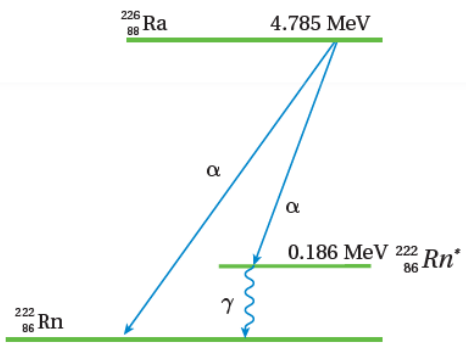
الحل

$${}^{103}_{45}Rh + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{104}_{45}Rh$$

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

مثال (3)

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



أ . ما مقدار طاقتي جُسيم ألفا؟
ب. ما مقدار طاقة أشعّة غاما؟
ج. أكتب معادلة اضمحلال أشعّة غاما.
د . أكتب معادلة اضمحلال ألفا الذي ينتج عنه طاقة أكبر.

الحل:

أ)

طاقة جسيم الفا في الحالة الأولى (الانبعاث المباشر) $E_{\alpha} = 4.785\ \text{MeV}$

طاقة جسيم الفا في الحالة الثانية (الانبعاث بوجود اشعة غاما)

$$E_\alpha = 4.785 - 0.186 = 4.599\,\text{MeV}$$

ب) مقدار اشعة غاما $E_\gamma = 0.186\,\text{MeV}$

ج)

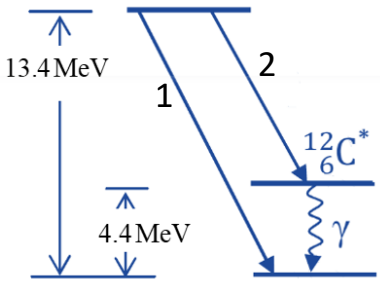
$$^{222}_{86}Rn^* \longrightarrow {}^{222}_{86}Rn + \gamma$$

د)

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

مثال (4)

يمثل الشكل المجاور إشعاع نواة عنصر البورون $^{12}_{5}B$ لجسيم بيتا بطريقتين مختلفتين اعتمادا على الشكل أجب عما يأتي:



1) اكتب معادلة إشعاع ذرة البورون لجسيم بيتا وتحولها مباشرة إلى نواة الكربون $^{12}_{6}C$ في الطريقة الأولى

2) فسر انبعاث إشعاع غاما في الطريقة الثانية

الحل

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

2) عندما تبعث نواة البورون جسيم بيتا حسب الطريقة الثانية بطاقة $(9\,\text{MeV})$ تتكون نواة كربون متهيجة (في مستوى طاقة عالي) تبعث بدورها أشعة جاما بطاقة $(4.4\,\text{MeV})$ لتنتقل إلى حالة الاستقرار.

مثال (5)

ثلاث نوى لعناصر مختلفة تتساوي في عددها الكتلي $\left(^{106}_{46}Pd\right)$, $\left(^{106}_{47}Ag\right)$, $\left(^{106}_{45}Rh\right)$ حيث نواة البلاديوم $\left(^{106}_{46}Pd\right)$ مستقرة بينما نواة الفضة و نواة الروديوم $\left(^{106}_{47}Ag\right)$, $\left(^{106}_{45}Rh\right)$ من باعثات بيتا، اجب عما يأتي:

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

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

3) أي النواتين غير المستقرتين تشع بيتا الموجبة وايها تشع بيتا السالبة ؟

4) أكتب معادلة اضمحلال كل من النواتين المشعتين

الحل

1) نواة البلاديوم $\left(^{106}_{46}Pd\right)$ لأنها مستقرة

2)

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

نسبة الاستقرار نجدها من النواة المستقرة

$$\frac{N}{Z}=\frac{60}{46}=1.304$$

3) بما ان النسبة لنواة الفضة $\left({}^{106}_{47}Ag\right)$ اقل من نسبة الاستقرار فهذا يعني أنها تمتلك فائضاً من البروتونات لذلك تشع بيتا الموجبة اما نواة الروديوم $\left({}^{106}_{45}Rh\right)$ فنسبتها اقل من نسبة الاستقرار مما يعني ان لديها فائض في عدد النيوترونات لذلك تشع بيتا السالبة

4)

$${}^{106}_{47}Ag \longrightarrow {}^{106}_{46}Pd + {}^{0}_{1}e + v$$

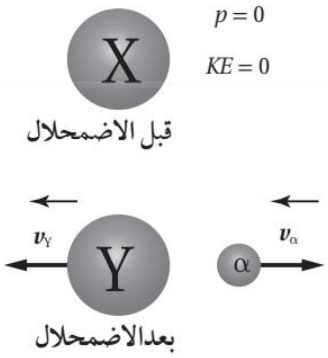
$${}^{106}_{45}Rh \longrightarrow {}^{106}_{46}Pd + {}^{0}_{-1}e + \bar{v}$$

مثال (6)

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

أ. أستخدم المتغيرات: أكتب معادلة حفظ الزخم الخطي لهذا النظام على افتراض أنه مغلق.

ب. إذا كانت الطاقة المتحررة من التفاعل تتوزع على جسيم الفا وعلى النواة (Y) كطاقة حركية، فإيهما يمتلك طاقة حركية أكبر



الحل

أ)

$$\sum P_i = \sum P_f$$

$$0 = -m_y v_y + m_\alpha v_\alpha$$

ب) الجسم الفا لإن له سرعة أكبر منها للنواة الجديدة كما يبين قانون حفظ الزخم في الفرع الأول

$$0 = -m_y v_y + m_\alpha v_\alpha$$

$$v_\alpha = \frac{m_y v_y}{m_\alpha}$$

$$KE_\alpha = \frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2$$

$$= \frac{1}{2} m_\alpha \left(\frac{m_y v_y}{m_\alpha} \right)^2 = \frac{m_y}{m_\alpha} \left(\frac{1}{2} m_y v_y^2 \right) = \frac{228}{4} KE_y = 57 KE_y$$

مثال (7)

ما التغيّر الذي يطرأ على كلٍّ من العدد الذري والعدد الكتلي للنواة الأم عند انبعاث جسيم ألفا منها.

الحل:

يقل العدد الذري بمقدار 2 والعدد الكتلي بمقدار 4

مثال (8)

بيّن ما التغيير الذي يطرأ على كلٍّ من العدد الذري والعدد الكتلي للنواة عند انبعاث جسيم + β أو جسيم - β منها

الحل:

عند انبعاث + β من نواة لا يتغير عددها الكتلي ويقل عددها الذري بمقدار (1)

عند انبعاث – β من نواة لا يتغير عددها الكتلي ويزداد عددها الذري بمقدار (1)

مثال (9)

بيّن ما يحدث لكلٍّ من العدد الذري والعدد الكتلي للنواة عند انبعاث أشعة غاما منها.

الحل:

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

مثال (10)

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

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

الحل:

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 (11)

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

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

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

الحل:

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

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

مثال (12)

فسر انبعاث أشعة غاما من النواة

الحل:

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.

مثال (13)

فسر انبعاث جُسيمات بيتا السالبة من النواة بالرغم من عدم احتواء النواة على إلكترونات

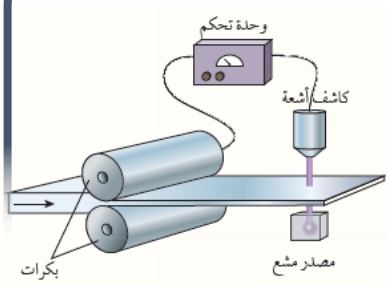
الحل:

ينبعث جسيم بيتا السالبة من النواة نتيجة اضمحلال أحد نيوترونات النواة وتحوله إلى بروتون وجسيم بيتا السالبة وضديد نيوترينو.

مثال (14)

تُستخدم الأشعّة النوويّة في التحكّم في سُمك الموادّ المصنَّعة كما 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؟



الحل:

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.

واجبات (اختبر نفسك)

السؤال الأول

1- النيوترينو جُسيم يَنتج عن عمليّة:

أ) تحلّل البروتون إلى نيوترون وبوزيترون.

ب) تحلّل النيوترون إلى بروتون وإلكترون.

ج) اضمحلال غاما.

د) خروج جُسيم ألفا من النواة.

السؤال الثاني

أكمل المعادلات النوويّة الآتية

$^{239}_{92}U \longrightarrow {}^{239}_{93}NP + \ldots\ldots\ldots + \ldots\ldots\ldots$

$^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{7}_{3}Li + \ldots\ldots\ldots$

$^{242}_{96}Cm + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{245}_{98}Cf + \ldots\ldots\ldots$

$^{1}_{0}n + {}^{14}_{7}N \longrightarrow {}^{14}_{6}C + \ldots\ldots\ldots$

$^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}P + \ldots\ldots\ldots + \ldots\ldots\ldots$

$^{13}_{7}N \longrightarrow {}^{13}_{6}C + \ldots\ldots\ldots + \ldots\ldots\ldots$

الحل:

$^{239}_{92}U \longrightarrow {}^{239}_{93}NP + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$

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

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

$^{1}_{0}n + {}^{14}_{7}N \longrightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}P$

$^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}P + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$

$^{13}_{7}N \longrightarrow {}^{13}_{6}C + {}^{0}_{1}e + \nu$

السؤال الثالث

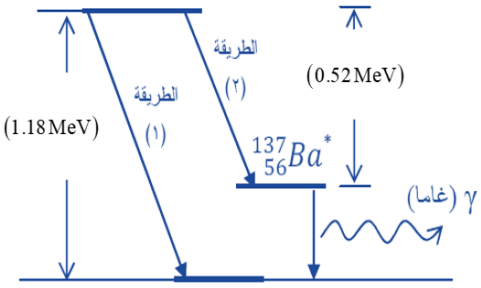
تُستخدم أشعة بيتا في ضبط سُمك الورق، فهل تصلح أشعة غاما أو ألفا لذلك؟ فسر اجابتك

الحل:

لا، حيث إن اشعة غاما لها قدرة عالية على الاختراق وبتالي لن تصلح في تحديد سمك الورق الطبيعي واشعة الفا قدرتها على النفاذ فليلة جدا لذلك يمكن لاي ورقة مهما كان سمكها ان توقفها

السؤال الرابع

يمثل الشكل المجاور إشعاع نواة السيزيوم $\left({}^{137}_{55}Cs\right)$ لجسيم بيتا بطريقتين للوصول إلى نواة باريوم مستقرة $\left({}^{137}_{56}Ba\right)$ معتمدا على الشكل والبيانات المثبتة عليه أجب عما يأتي:



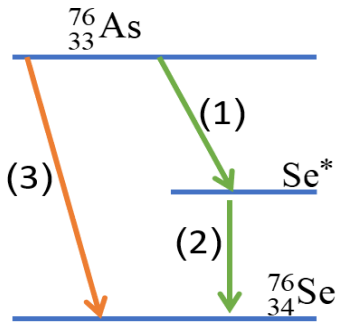
1) أكتب معادلة موزونة (وتامة) لإشعاع نواة السيزيوم في الطريقة الأولى
2) فسر انبعاث اشعة غاما في الطريقة الثانية
3) ما مقدار طاقة أشعة غاما؟

الحل

1) في طريقة الأولى : ${}^{137}_{55}Cs \longrightarrow {}^{137}_{56}Ba + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$
2) لأن نواة الباريوم ${}^{137}_{56}Ba^*$ الناتجة لديها طاقة زائدة وهي غير مستقرة، وحتى تصل إلى حالة الاستقرار تبعث اشعاع غاما
3) طاقة غاما $(1.18 - 0.52 = 0.66\,MeV)$

السؤال الخامس

تضمحل نواة الزرنيخ ${}^{76}_{33}As$ المشعة باعثة دقيقة بيتا السالبة وطاقتها $2.41MeV$ ثم اشعة غاما وطاقتها $0.56MeV$ مستعينا بالبيانات المثبتة على الشكل المجاور أجب عما يأتي:



1) اكتب معادلة نووية موزونة تبين اضمحلال الزرنيخ عبر المرحلتين (1) و (2)
2) احسب الطاقة التي يجب ان تبعثها نواة الزرنيخ في مرحلة (3) حتى تستقر

الحل

(1

$${}^{76}_{33}As \longrightarrow {}^{76}_{34}Se^* + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$

$${}^{76}_{34}Se^* \longrightarrow {}^{76}_{34}Se + \gamma$$

(2

$$E = 2.41 + 0.56 = 2.97MeV$$

2 عمر النصف

التعريف

عمر النصف : هو الزمن اللازم لاضمحلال نصف عدد النوى المشعة

يختلف مقدار عمر النصف من عنصر إلى اخر والجدول المجاور يبين بعض الأمثلة على مقدار عمر النصف المرتبط ببعض العناصر

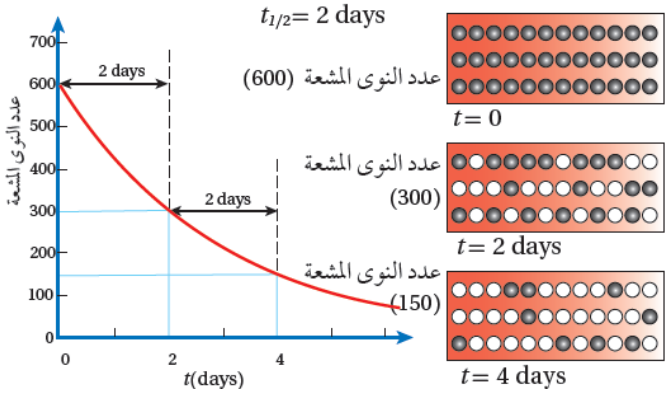
العنصر	عمر النصف
$^{238}_{92}U$	4.47×10^9 y
$^{235}_{92}U$	7.04×10^8 y
$^{232}_{90}Th$	1.41×10^{10} y
$^{137}_{55}Cs$	30.08 y
$^{60}_{27}Co$	5.27 y
$^{191}_{76}Os$	15.4 days
$^{211}_{83}Bi$	2.14 min
$^{144}_{56}Ba$	11.9 s

إذا كان عدد الانوية في عينة مشعة ما هو (N_0) فبعد مرور فترة عمر نصف واحدة $(t_{1/2})$ يقل مقدار الانوية الموجودة إلى النصف وبعد مرور فترة أخرى يقل المقدار إلى الربع وهكذا إلى ان تتحول كل العينة إلى مادة مستقرة

$$N_o \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{N_o}{2} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{N_o}{4} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{N_o}{8} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{N_o}{16} \xrightarrow{t_{1/2}} .....$$

ويمكن التوصل إلى القاعدة التالية التي تربط بين عدد الانوية الابتدائية وعدد الانوية بعد مرور زمن ما

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



◈ النشاطية الإشعاعية

بمرور الزمن، يتناقص عدد النوى المشعة، فيقل عدد النوى التي تضمحل في الثانية الواحدة. وتُعبّر النشاطيّة الإشعاعيّة عن **عدد الإضمحلالات في الثانية الواحدة**، ويرمز إليها بالرمز (A) وتحسب النشاطية الاشعاعية من خلال القانون التالي

$$A = \lambda N$$

حيث (N) يمثل عدد الانوية عند لحظة زمنية معينة

(λ) تمثل ثابت يسمى **ثابت الاضمحلال**

ويرتبط ثابت الاضمحلال بعمر النصف من خلال العلاقة التالية

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

ملاحظات هامة...

(1) تقاس النشاطية بوحدة بيكرل (Bq) وتساوي اضمحلالً واحدًا في الثانية، أو بوحدة كوري (Ci) حيث $(1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}\ \text{Bq})$

(2) تتناسب النشاطية الإشعاعية طرديًا مع عدد النوى المشعة عند لحظة زمنية معينة

(3) عمر النصف يتناسب عكسيًا مع ثابت الاضمحلال

(4) عند مرور زمن يساوي عمر النصف على العينة المشعة، فإن النشاطية الإشعاعية لها تقل إلى النصف.

ويمكن الربط بينهما على النحو الآتي:

$$A_o \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{A_o}{2} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{A_o}{4} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{A_o}{8} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{A_o}{16} \xrightarrow{t_{1/2}} \ldots\ldots$$

ويمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة التالية

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

حيث (A_0) هي النشاطية الاشعاعية الابتدائية و (A) النشاطية الاشعاعية بعد مرور زمن مقدره (t)

عرّف النشاطيّة الإشعاعيّة وعمر النصف.

الحل:

النشاطيّة الإشعاعيّة: عدد الاضمحلالات في **الثانية الواحدة**.

عمر النصف: المدة الزمنية اللازمة لاضمحلال نصف عدد النوى المشعة.

مثال (1)

يُستخدم الغاليوم – 67 في التشخيص الطبّي. إذا علمت أنّ ثابت الاضمحلال له $(2.4\times10^{-6}s^{-1})$ وقستُ النشاطيّة الإشعاعيّة لعينة منه فكانت $(4680\,Bq)$ ، فأجد الزمن اللازم حتى تصبح النشاطيّة الإشعاعيّة $(1170\,Bq)$

الحل:

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

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

$$2=\frac{t}{t_{1/2}} \quad ===> \quad t=2t_{1/2}=2\times\frac{0.693}{\lambda}=2\times\frac{0.693}{2.4\times10^{-6}}=5.775\times10^{5}s$$

مثال (2)

يستخدم نظير الكوبالت $(60-)$ في تعقيم الأجهزة الطبية وفي علاج مرض السرطان. عمر النصف لنظير الكوبالت $^{60}_{27}Co$ يساوي $(5.27\,y)$ قِستُ النشاطيّة الإشعاعيّة لعينة منه عند لحظة زمنيّة معينة فوجدتها $(0.200\mu Ci)$ أجد ما يأتي:

أ . عدد النوى المشعّة في العينة.

ب. النشاطيّة الإشعاعيّة بعد زمن يساوي ثلاثة أضعاف عمر النصف.

الحل:

أ) أولاً نحوّل النشاطيّة الإشعاعيّة من وحدة µCi إلى وحدة Bq

$$A_0=\left(0.200\times10^{-6}\right)\times\left(3.7\times10^{10}\right)=7.4\times10^{3}\,Bq$$

الان نحول عمر النصف إلى ثانية

$$t_{1/2}=5.27\times365\times24\times60\times60=166\times10^{6}s$$

الان يمكن إيجاد قيمة ثابت الاضمحلال

$$\lambda=\frac{0.693}{t_{1/2}}=4.18\times10^{-9}s^{-1}$$

$$A_0=\lambda N_0$$

$$7.4\times10^{3}=4.18\times10^{-9}N_0 \quad ===> \quad N_0=1.8\times10^{12}\ nuclei$$

ب) 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 $(0.025\mu Ci)$

مثال (3)

يُستخدم اليود المشعّ في علاج سرطان الغدة الدرقيّة، فإذا كان عمر النصف له $(8day)$ تقريبًا، أجد الزمن اللازم حتى يضمحلّ (0.75%) منه.

الحل:

حتى يضمحل (0.75%) منه تعني أن نسبة ما تبقى من النوى المشعة يساوي (0.25%)، أي أن:

$$\frac{N}{N_0}=\frac{25}{100}=\frac{1}{4}$$

$$\frac{N}{N_0}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \quad ====> \quad \frac{1}{4}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8}} \quad ===> \quad \left(\frac{1}{2}\right)^{2}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8}} \quad ===> \quad t=8\times 2=16\,days$$

مثال (4)

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

الحل:

النشاطية الاشعاعية 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

$$\frac{A}{A_o}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \quad ===> \quad \frac{100}{400}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{t_{1/2}}}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{2}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{t_{1/2}}} \quad ==> 2=\frac{3}{t_{1/2}}$$

$$===> t_{1/2}=1.5h$$

مثال (5)

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

الحل:

$$\frac{100}{800}=\left(\frac{1}{2}\right)^{3} \quad ===> \quad \frac{t}{t_{1/2}}=3$$

$$t=3t_{1/2}=3\times\frac{\ln 2}{\lambda}=3\times\frac{\ln 2}{4\ln 2}=\frac{3}{4}days$$

مثال (6)

عينة من نظير الثوريوم $\left({}^{228}_{90}Th\right)$ تحتوي على $\left(2.53\times10^{21}\,atoms\right)$ وثابت الاضمحلال له يساوي $\left(1.15\times10^{-8}\,s^{-1}\right)$ جد:

1) عمر النصف للثوريوم $\left({}^{228}_{90}Th\right)$

2) النشاطيّة الإشعاعيّة لهذه العينة.

الحل:

(1

$$t_{1/2}=\frac{\ln 2}{\lambda}=\frac{0.693}{1.15\times10^{-8}}=6.02\times10^{7}\,s$$

(2

$$\mathrm{A}=\mathrm{N}_0\,\lambda=\left(2.53\times10^{21}\right)\times\left(1.15\times10^{-8}\right)=2.9\times10^{13}\,Bq$$

مثال (7)

الفلور – 18 $\left({}^{18}_{9}F\right)$ نظير مشع معد صناعيًّا، عمر النصف له $\left(110\,\mathrm{min}\right)$ يُستخدم في التصوير الطبّي حيث يضمحل ليعطي أحد نظائر الأكسجين وبوزيترون. أعدّت سارة عينة منه تحتوي على $\left(2.1\times10^{16}\,atoms\right)$ لتصوير أحد المرضى.

أ . أكتب معادلة موزونة لاضمحلال الفلور.

ب. أحسب ثابت الاضمحلال له.

ج. ما عدد النوى المشعّة بعد مضي (220 min)؟

الحل:

أ)

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

نجد أن $A=18$, $Z=8$ والعنصر X هو نظير الأكسجين ${}^{18}_{8}O$

ب)

$$\lambda=\frac{\ln 2}{t_{1/2}}=\frac{0.693}{110}=6.3\times10^{-3}\,\mathrm{min}^{-1}$$

ج)

بعد مضي $\left(220\,\mathrm{min}\right)$ يكون قد مضى على العينة زمن يساوي ضعفي عمر النصف، ما يعني أن عدد النوى المشعة سيقل للربع ويصبح $\left(\frac{2.1\times10^{16}\,atoms}{4}=5.25\times10^{15}\,atoms\right)$

مثال (8)

عينة من البولونيوم $\left({}^{210}_{84}Po\right)$ تحتوي على $\left(2.8\times10^{18}\,atoms\right)$ وثابت الاضمحلال للبولونيوم يساوي $\left(5.8\times10^{-8}\,s^{-1}\right)$ ، جد:

1) عمر النصف للبولونيوم
2) النشاطية الاشعاعية
3) عدد النوى المتبقية من البولونيوم بعد مرور مدة زمنية مقدارها أربعة أمثال عمر النصف

الحل:

(1

$$t_{1/2}=\frac{0.693}{\lambda}=\frac{0.693}{5.8\times10^{-8}}=11.9\times10^{6}\,s$$

(2

$$A_0=N_0\lambda=\left(2.8\times10^{18}\right)\times\left(5.8\times10^{-8}\right)=1.6\times10^{11}\,Bq$$

(3

$$\frac{t}{t_{1/2}}=4$$

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

$$\frac{N}{2.8\times10^{18}}=\left(\frac{1}{2}\right)^{4}$$

$$N=2.8\times10^{18}\times\frac{1}{16}=1.8\times10^{17}\,atoms$$

مثال (9)

عينة من الأمريسيوم $\left({}^{241}_{95}Am\right)$ تحتوي على $\left(1.25\times10^{15}\,atoms\right)$ ونشاطيّتها الإشعاعيّة $\left(1.7\,\mu Ci\right)$ أجد ثابت الاضمحلال للأمريسيوم $\left({}^{241}_{95}Am\right)$

الحل:

أولا نحول من $\left(\mu Ci\right)$ إلى $\left(Bq\right)$ حيث أن $1Ci=3.7\times10^{10}\,Bq$

$$1.7\,\mu Ci=1.7\times10^{-6}\times3.7\times10^{10}=6.3\times10^{4}\,Bq$$

ثم نعوض في القانون:

$$A=N\lambda$$

$$6.3\times10^{4}=1.25\times10^{15}\lambda \quad\Rightarrow\Rightarrow\quad \lambda=5.04\times10^{-11}\,s^{-1}$$

مثال (10)

يمثّل الشكل المجاور عينة من الكوبالت تستخدم في المختبرات لدراسة طبيعة إشعاع غاما، بالاستعانة بالمعلومات المثبَتة على الشكل، أجد:

أ . عمر النصف.

ب. النشاطيّة الإشعاعيّة للعينة.

ج. تاريخ تصنيع العينة.

د . النشاطيّة الإشعاعيّة في $(\text{JUL } 2019)$ ، أيْ بعد مرور زمن يساوي ضعفي عمر النصف.

الحل:

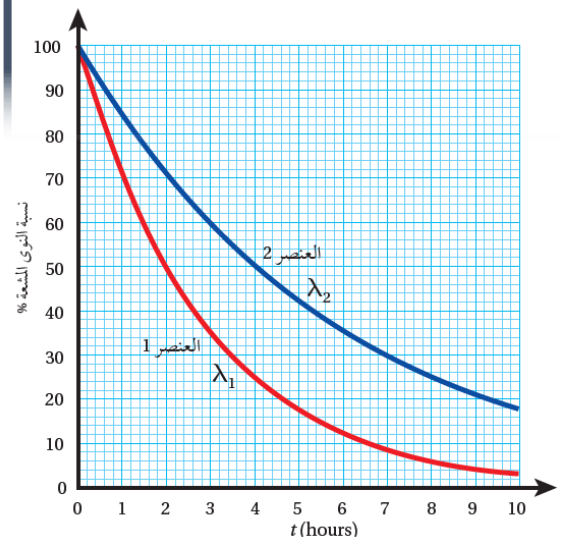
أ) من الشكل نجد أن $t_{1/2} = 5.7\,years$

ب) من الشكل نجد أن $A_0 = 1\mu Ci$

ج) من الشكل نلاحظ ان تاريخ تصنيع العينة هو $(\text{APR } 2009)$

د) الزمن يساوي ضعفي عمر النصف مما يعني أن النشاطية الاشعاعية تقل إلى الربع $A = 0.25\,\mu Ci$

مثال (11)



يمثّل الشكل رسمًا بيانيًّا يوضّح العلاقة بين النسبة $\left(\frac{N}{N_0}\times 100\%\right)$ مع الزمن لنظيري عنصرين مشعين، ثابت الاضمحلال لكل منهما (λ_1, λ_2)

أ . ما عمر النصف لكلٍّ منهما؟

ب. ما نسبة عدد النوى المشعّة المتبقيّة بعد مرور 10 ساعات لكلٍّ من النظيرين؟

ج. أيّهما أكبر (λ_1, λ_2)

الحل:

أ) من الرسم البياني نجد أن عمر النصف للعنصر (1) يساوي تقريباً (2hr) أما للعنصر (2) فعمر النصف يساوي تقريباً (4hr)

ب) للعنصر الأول

$$\frac{N_1}{N_0} = \frac{4}{100}\times 100\% = 4\%$$

للعنصر الثاني

$$\frac{N_2}{N_0} = \frac{18}{100}\times 100\% = 18\%$$

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

واجبات (اختبر نفسك)

السؤال الأول

اختر رمز الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1- إذا كان عمر النصف للنظير (X) ضعفي عمر النصف للنظير (Y) ، فإن ثابت الاضمحلال للنظير (X)يساوي:

أ) ضعفي ثابت الاضمحلال للنظير (Y)
ب) ثابت الاضمحلال للنظير (Y)
ج) ثلاثة اضعاف ثابت الاضمحلال للنظير (Y)
د) نصف ثابت الاضمحلال للنظير (Y)

2- إذا مر زمن مقداره ضعفا عمر النصف لعينة مشعة، فإن نشاطيتها الإشعاعية:

أ) تتضاعف أربع مرات
ب) تقل إلى الربع
ج) تتضاعف مرتين
د) تقل إلى النصف

السؤال الثاني

تقوم سوسن بدراسة النشاط الإشعاعي لعينة من نظير الراديوم المشع وتحتوي (1.5×10^{9}) نواة مشعة باستخدام كاشف للإشعاع لا يقيس إلا (10%) من الإشعاعات الواصلة إليه، فكانت قراءته 35 اضمحلالاً في الدقيقة الواحدة احسب ثابت الاضمحلال للراديوم

الحل:

أولاً نحدد النشاطية الاشعاعية بالثانية الواحدة

$$A=\frac{10\times35}{60}=5.83s^{-1}$$

ضربنا النشاطية الاشعاعية بـ (10) لإن الجهاز لا يقس إلا عشر بالمية من قيمة الاشعاع

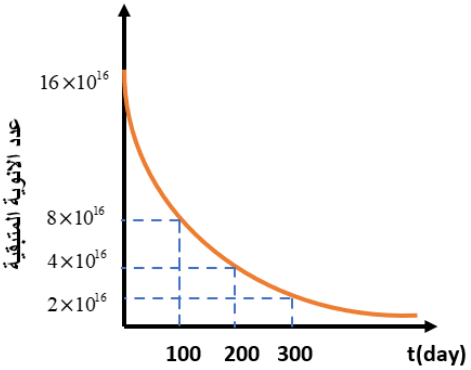
$$A=\lambda N$$

$$5.83=\lambda\left(1.5\times10^{9}\right)$$

$$\lambda=3.89\times10^{-9}s^{-1}$$

السؤال الثالث

يبين الشكل المجاور العلاقة البيانية بين عدد الأنوية المتبقية لعنصر مشع والزمن بالأيام ، معتمداً على البيانات المثبتة على الشكل أوجد :



1) عمر النصف للعنصر المشع .
2) ثابت الاضمحلال للعنصر المشع .
3) عدد الأنوية المتبقية من العنصر المشع بعد مرور 300 يوم .

الحل

1) من الشكل عمر النصف يساوي (100) يوم

2)

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{100} = 6.93\times10^{-3}\,day^{-1}$$

3)

من الشكل $\left(2\times10^{16}\right)$ نواة

3 سلاسل الاضمحلال الاشعاعي الطبيعي

التعريف

سلاسل الاضمحلال : هي مجموعة الاضمحلالات التلقائيّة التي تبدأ بعنصر مشعّ ثقيل (موجود في الطبيعة)، وتنتهي بعنصر مستقر من خلال اضمحلالات عدة لألفا وبيتا

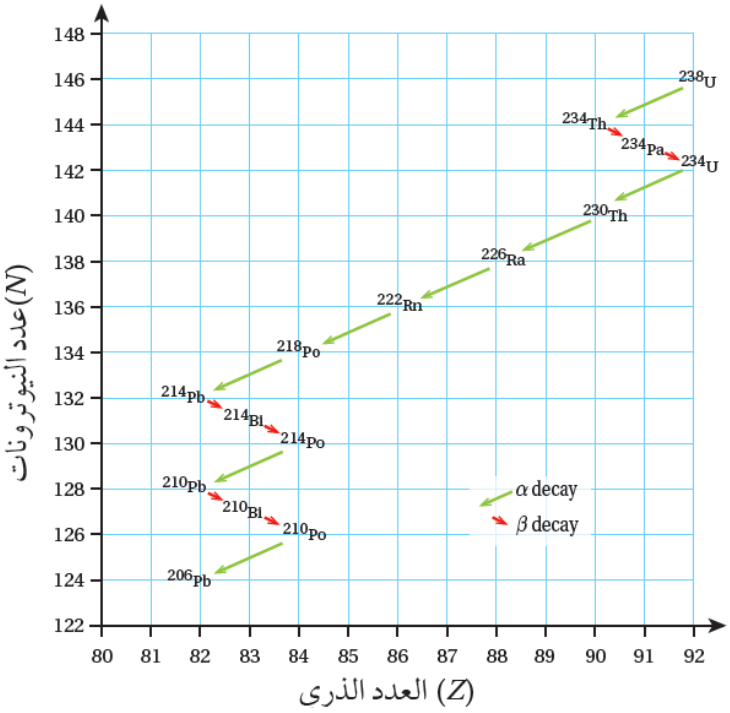
توضيح....

اليورانيوم $\left({}^{238}_{92}U\right)$ عنصر مشع يبعث جسيم الفا ويتحول إلى عنصر الثوريوم $\left({}^{234}_{90}Th\right)$ ولكن عنصر الثوريوم ايضاً مشع لذلك يضمحل لينتج عنصر مشع اخر وتستمر العملية إلى الوصول إلى عنصر مستقر مثل الرصاص

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

وسلاسل الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي ثلاث سلاسل، هي:

1. **سلسلة اليورانيوم**
   - تبدأ بنظير اليورانيوم ${}^{238}_{92}U$
2. **سلسلة الثوريوم**
   - تبدأ بنظير الثوريوم ${}^{232}_{90}Th$
3. **سلسلة الأكتينيوم**
   - تبدأ بنظير اليورانيوم ${}^{235}_{92}U$



ملاحظات هامة...

(1) جميع السلاسل السابقة تبدأ بنظير عنصر مشع ثقيل وتنتهي بأحد نظائر الرصاص المستقرة

(2) كل سلسلة تسمى باسم العنصر الأطول عمراً فيها وليس باسم العنصر الذي تبدأ به

(3) يمكن التعبير عن سلاسل الاضمحلال الاشعاعي بمعادلة تحتوي على عدد جسيمات الفا وبيتا التي بعثت خلال السلسلة. المعادلة التالية تبين معادلة سلسلة اليورانيوم

$$ {}^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{206}_{82}Pb + 8\,{}^{4}_{2}He + 6\,{}^{0}_{-1}e + 6\bar{\nu} $$

مثال (1)

يمكن التعبير عن سلسلة اضمحلال الثوريوم بالمعادلة:

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

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

الحل:

أُطبّق مبدأ حفظ العدد الكتلي لحساب (n)

$$\sum A_{befor} = \sum A_{after}$$

$$232 = 208 + 4n + 0(m) \implies n = 6$$

ثمّ أطبّق مبدأ حفظ العدد الذري لحساب (m)

$$\sum Z_{befor} = \sum Z_{after}$$

$$90 = 82 + 4\times 6 - m \implies m = 4$$

مثال (2)

تمثّل المعادلة الآتية جزءًا من سلسلة اليورانيوم:

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

أ . ما اسم الجُسيمين $(g\ ,\ h)$

ب. إذا انبعث 6 جُسيمات ألفا وجُسيما بيتا السالبة للوصول إلى النواة $\left({}^{A}_{Z}X\right)$ جد مقدار كل من A و Z

الحل:

أ) الجسيم h هو جسيم الفا

الجسيم g هو جسيم بيتا السالب

ب)

أُطبّق مبدأ حفظ العدد الكتلي لحساب العدد الكتلي

$$\sum A_{befor} = \sum A_{after}$$

$$238 = A + (4\times 6) + 0(2) \implies A = 214$$

ثمّ أطبّق مبدأ حفظ العدد الذري لحساب العدد الذري

$$\sum Z_{befor} = \sum Z_{after}$$

$$92 = Z + (2\times 6) + (-1\times 2) \implies Z = 82$$

مثال (3)

تمثل المعادلة النووية الأتية سلسلة اضمحلال إشعاعي تبدأ بالنظير $(^{238}_{92}U)$ والذي يمر بسلسلة من التحولات التي تتضمن انبعاث الإشعاعات النووية (الفا، بيتا، غاما) لتنتهي بـ $(^{206}_{82}Pb)$

$$^{238}_{92}U \rightarrow 8\,^{4}_{2}He + X\ ^{0}_{-1}e + X\,\bar{\upsilon} + ^{206}_{82}Pb$$

1) ما اسم هذه السلسلة ؟
2) ما اسم النظير المستقر في هذه السلسلة
3) ما عدد دقائق بيتا (X) المنطلقة من هذه السلسلة
4) أي من الإشعاعات النووية (الفا، بيتا، غاما) أقل نفاذا، ولماذا

الحل

1) سلسلة اليورانيوم
2) الرصاص
3) $92 = 82 + (8\times 2) + (-1)X \quad \Rightarrow\Rightarrow \quad X = 6$
4) جسيمات الفا اقل نفاذا، لكبر كتلتها وكبر شحنتها

مثال (4)

مثلث إحدى سلاسل الاضمحلال الإشعاعي كالاتي :

$$^{238}_{92}U \longrightarrow ^{234}_{90}Th \longrightarrow ^{234}_{91}Pa \longrightarrow ^{234}_{92}U \overset{\uparrow\text{------(1)------}\uparrow}{\ldots\longrightarrow} ^{206}_{82}Pb$$

أولا: ما اسم السلسلة المبينة
ثانيا: احسب كلا من
1) عدد جسيمات الفا وعدد جسيمات بيتا المنبعثة في الاضمحلال رقم (1)
2) الكتلة التقريبية لنواة العنصر (Pb)بوحدة الكتلة الذرية

الحل

أولا : سلسلة اليورانيوم
ثانيا :

1) $^{234}_{92}U \longrightarrow ^{206}_{82}Pb + x\,^{4}_{2}He + y\ ^{0}_{-1}e$

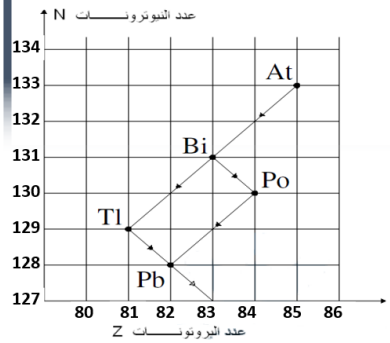
عدد دقائق الفا (x) : $234 = 206 + 4x \quad \Rightarrow x = 7 \quad \Leftarrow\Leftarrow$

عدد دقائق بيتا (y) : $92 = 82 + (2\times 7) - y \quad \Rightarrow y = 4 \quad \Leftarrow\Leftarrow$

2)

$$m = m_{nuc}A$$
$$= 1.66\times 10^{-27}\times 206$$
$$= 341.96\times 10^{-27}\,kg$$

مثال (5)



يبين الشكل المجاور جزءا من سلسلة اضمحلال اليورانيوم (238) معتمدا على الشكل وبياناته أجب عما يأتي:

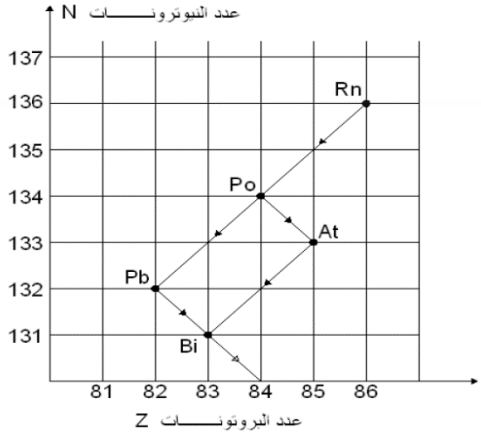
1) مثل اضمحلال (Bi) إلى (Po) بمعادلة نووية موزونة
2) ما عدد جسيمات الفا وعدد جسيمات بيتا المنبعثة من اضمحلال (At) إلى (Pb)

الحل

1) $^{214}_{83}Bi \longrightarrow {}^{214}_{84}Po + {}^{0}_{-1}e + v$

2) عدد جسيمات الفا = 2 , عدد جسيمات بيتا = 1

مثال (6)



يبين الشكل المجاور جزءا من سلسلة الاضمحلال الإشعاعي لليورانيوم (238) معتمدا على الشكل :

1) ما عدد جسيمات الفا وبيتا المنبعثة من اضمحلال Rn إلى Bi
2) مثل اضمحلال الرصاص Pb إلى Bi بمعادلة نووية موزونة

الحل

1) عدد جسيمات الفا = 2 , وعدد جسيمات بيتا = 1

2) المعادلة : $^{214}_{82}Pb \longrightarrow {}^{214}_{83}Bi + {}^{0}_{-1}e + \bar{\upsilon}$

مثال (7)

تضمحل نواة الراديوم $\left(^{226}_{88}Ra\right)$ ضمن سلسلة تحولات إلى نواة $\left(^{214}_{84}Po\right)$, احسب عدد دقائق الفا وبيتا الناتجة من هذه التحولات

الحل

$$^{226}_{88}Ra \longrightarrow {}^{214}_{84}Po + x \times {}^{4}_{2}He + y \times {}^{0}_{-1}e$$

عدد الفا : $226 = 214 + 4x \Rightarrow x = 3$ ⟸⟸

عدد بيتا : $88 = 84 + 2x - y \Rightarrow y = 2$ ⟸⟸

مثال (8)

اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي:

1- $\left({}^{A}_{Z}X\right)$ 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:

أ) $\left({}^{A-4}_{Z+2}X\right)$ ب) $\left({}^{A-2}_{Z-4}X\right)$ ج) $\left({}^{A+2}_{Z+4}X\right)$ د) $\left({}^{A+4}_{Z-2}X\right)$

2- عدد جُسيمات ألفا وبيتا السالبة المنبعِثة من سلسلة تحوّلات تضمحلّ خلالها نواة $\left({}^{238}_{92}U\right)$ إلى نواة $\left({}^{226}_{88}X\right)$ على الترتيب هي:

أ) 2 الفا ، 3 بيتا ب) 3 ألفا ، 4 بيتا ج) 2 ألفا ، 2 بيتا د) 3 ألفا ، 2 بيتا

3- النواة غير المستقرة تتحوّل تلقائيًا إلى نواة ذات كتلة:

أ) أقلّ وطاقة ربط أعلى لكل نيوكليون.

ب) أكبر وطاقة ربط أقلّ لكل نيوكليون.

ج) أكبر وطاقة ربط أعلى لكل نيوكليون.

د) أقلّ وطاقة ربط أقلّ لكل نيوكليون.

◈ الأسئلة النظرية

ما المقصود بسلاسل الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي؟

الحل:

مجموعة الاضمحلالات التلقائية التي تبدأ بعنصر مشع ثقيل(موجود في الطبيعة) وتنتهي بعنصر مستقر من خلال عدة اضمحلالات لألفا أو بيتا.

الدرس الثالث

التفاعلات النووية

1 التفاعل النووي

التعريف

التفاعل النووي : تفاعل يحدث عند اصطدام نواتي ذرتين، أو اصطدام جُسيم نووي مثل، البروتون أو النيوترون بنواة ذرة أخرى، وقد ينتج من ذلك نواة جديدة أو أكثر.

ويمكن التعبير عن التفاعل النووي بالمعادلة التالية:

$$a + X \longrightarrow b + Y$$

حيث إن

(a) القذيفة المستخدمة في التفاعل (X) النواة الهدف

(b) الجسيم النووي الناتج من التفاعل (Y) النواة الناتجة

ومن الأمثلة على القذائف المستخدمة في التفاعلات النووية :

1. جسيمات الفا
2. البروتونات
3. الديتيريوم
4. النيوترونات

ملاحظات هامة...

(1) عندما تقترب القذيفة من النواة الهدف مسافة كافية يبدأ تأثير القوة النووية ويحدث التفاعل

(2) القذائف التي لها شحنة موجبة مثل الفا والبروتونات يجب ان تسرع قبل ان تقذف لتتغلب على قوة التنافر الكهربائية

(3) في بعض التفاعلات النووية، تمتصّ النواة الهدف القذيفةَ لتشكّل نواة مركّبة غير مستقرة ثم تضمحل هذه النواة إلى نواة جديدة وجسيم نووي

$$a + X \longrightarrow (\mathrm{CN})^{*} \longrightarrow b + Y$$

(4) من الأمثلة على التفاعلات النووية تجربة رذرفورد بقذف نواة النيتروجين بجسيمات الفا

$$\alpha + {}^{14}_{7}N \longrightarrow (F)^{*} \longrightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}P$$

(5) تعد النيوترونات من القذائف المهمة في التفاعلات النووية وذلك لأنها متعادلا كهربائياً لذلك لا تحتاج للتسريع لكي تتغلب على قوة التنافر الكهربائية كما في باقي القذائف

◈ طاقة التفاعل

بعض التفاعلات النووية تحتاج لطاقة وبعضها الاخر ينتج عنه طاقة وهذه الطاقة ناتجة عن تحول جزء من الكتلة إلى طاقة ويمكن حسابها من خلال القانون التالي

$$Q=\left[m_a+m_x-\left(m_b+m_y\right)\right]\times 931.5$$

إذا كانت قيمة (Q) **سالبة** فالتفاعل يكون **ماص للطاقة** (يحتاج طاقة) اما إذا كانت **موجبة** فالتفاعل يكون **منتج للطاقة**

مثال (1)

قذفت نواة $\left({}^{9}_{4}Be\right)$ بجُسيم ألفا، وفقًا للتفاعل النووي الآتي:

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

فإذا علمت أنّ كتل النوى الداخلة في التفاعل تزيد بمقدار (0.00612 amu) على كتل الموادّ الناتجة من التفاعل. اعتمادًا 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

أ . هل التفاعل النووي منتِج للطاقة أم ماصّ لها؟

ب. أحسب كتلة نواة $\left({}^{9}_{4}Be\right)$

ج) أحسب طاقة الربط النووية لكل نيوكليون لنواة $\left({}^{12}_{6}C\right)$ بوحدة (MeV)

الحل:

أ) التفاعل منتج للطاقة

ب)

$$\Delta m=\left(m_{He}+m_{Be}-m_C-m_n\right)$$
$$0.00612=\left(4.0015+m_{Be}-11.9967-1.0087\right)$$
$$m_{Be}=9.01002\,\text{amu}$$

ج)

$$BE=\left(Zm_p+N\times m_n-M\right)\times 931.5$$
$$=\left(6\times 1.00728+6\times 1.00867-11.9967\right)\times 931.5$$
$$=0.099\times 931.5=92.2185\,\text{MeV}$$
$$\frac{BE}{A}=\frac{92.2185}{12}=7.68\,\text{MeV}$$

مثال (2)

في التفاعل النووي الآتي ${}^{1}_{0}n + {}^{10}_{5}B \longrightarrow {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He$ أحسب الطاقة الناتجة من 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

الحل:

$$Q = [m_a + m_x - (m_b + m_y)] + 931.5$$

$$Q = (1.0087 + 10.0103 - (4.0015 + 7.0144)) \times 931.5$$

$$Q = 0.0031 \times 931.5 = 2.89\,\text{MeV} = 2.89 \times 10^{6}\,\text{eV}$$

مثال (3)

تأمل المعادلة النووي المجاورة ثم اجب عن الأسئلة الاتية:

$${}^{4}_{2}He + {}^{27}_{13}Al \longrightarrow X \longrightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n$$

1) حدد رمز العنصر الذي يمثل القذيفة
2) أي النواتج يمتلك طاقة حركية أكبر
3) ماذا يمثل الرمز (X) في المعادلة
4) أحسب ما يأتي:
- طاقة الربط النووية لنواة لكل نيوكليون ${}^{4}_{2}He$ إذا علمت أن $(\Delta m = 0.0303 amu)$
- نصف قطر نواة ${}^{27}_{13}Al$

الحل

1) ${}^{4}_{2}He$

2) ${}^{1}_{0}n$

3) نواة مركبة ${}^{31}_{15}P^{*}$

4)

$$BE = \Delta m \times 931$$

$$= 0.0303 \times 931 = 28.2093\,\text{MeV}$$

$$\frac{BE}{A} = \frac{28.2093}{4} = 7.052325\,\text{MeV}$$

$$r = r_0 \times \sqrt[3]{A} = (1.2 \times 10^{-15})(\sqrt[3]{27}) = 3.6 \times 10^{-15}\,\text{m}$$

مثال (4)

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

الحل:

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

مثال (5)

لماذا يحتاج البروتون إلى طاقة أكبر من النيوترون ليقترب من النواة ويحدث تفاعلً نوويًّا؟

الحل:

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

سـؤال إضافي

في التفاعل النووي التالي : $^{1}_{0}n + {}^{10}_{5}B \longrightarrow {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He$

احسب الطاقة المتولدة من التفاعل بوحدة الإلكترون فولت . علماً بان كتل الانوية كما في الجدول التالي:

$^{4}_{2}He$	$^{7}_{3}Li$	$^{10}_{5}B$	$^{1}_{0}n$
$4.0015\,amu$	$7.0182\,amu$	$10.0160\,amu$	$1.0087\,amu$

افرض أن $(1amu = 931)$

الحل

$$Q = \left[m_n + m_B - \left(m_{Li} + m_{He}\right)\right] \times 931$$

$$Q = \left[1.0087 + 10.0160 - \left(7.0182 + 4.0015\right)\right] \times 931$$

$$Q = \left[11.0247 - \left(11.0197\right)\right] \times 931 = 4.655\,MeV$$

2 تفاعلات الانشطار والاندماج

◈ الانشطار النووي

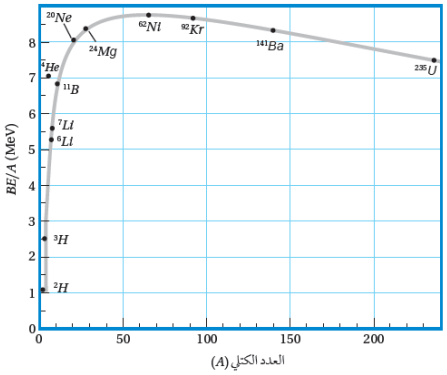
التعريف

الانشطار النووي : **عبارة عن انقسام نواة ثقيلة لنواتين أو أكثر، أصغر منها في الكتلة.**

ملاحظات هامة...

(1) النوى الأكثر قابلية للانشطار هي النوى الثقيلة

(2) النواتين الناتجتين من الانشطار كل منهما له كتلة اقل وطاقة ربط لكل نيوكليون اعلى من تلك للنواة الام



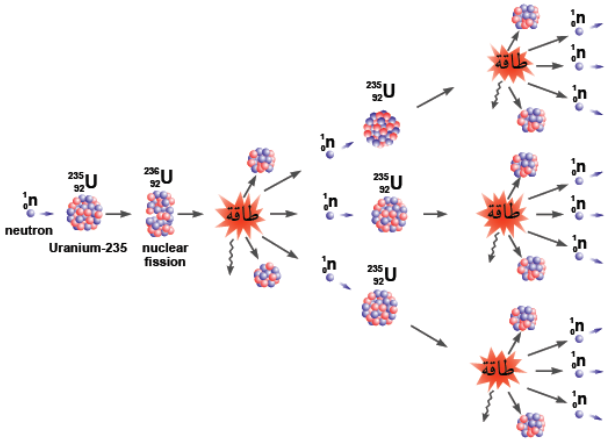
النوى الأكثر قابيليه للانشطار تلك التي تقع على يمين المنحنى في الشكل المجاور

عند قذف نواة $\left(^{235}_{92}\mathrm{U}\right)$ بنيوترون بطيء تنشطر إلى نواتين، هما: $\left(^{141}_{56}Ba\right),\left(^{92}_{36}Kr\right)$ وينتج 3 نيوترونات، وتمتلك النوى الناتجة من هذا الانشطار طاقات ربط نووية لكل نيوكليون أكبر ويصاحب ذلك نقص في الكتلة يتحوّل إلى طاقة. ويمكن التعبير عن هذا الانشطار بالمعادلة النووية الآتية:

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

انشطار (1 kg) من اليورانيوم ينتج عنه طاقة تكفي لتزويد نحو (45) ألف منزل تقريبًا مدة شهر، يستهلك كلٌّ منها طاقة كهربائية بمقدار (500 kWh) تقريباً .

في التفاعل السابق تنتج 3 نيوترونات من انشطار نواة يورانيوم واحدة فقط إذا اصطدم أحد هذه النيوترونات بنواة يورانيوم أخرى فإنها ستنشطر ايضاً وفي هذه الحالة يوصف التفاعل بانه **تفاعل متسلسل** كما في الشكل المجاور



حتى يكون التفاعل المتسلسل ممكناً من الناحية العملية لا بد من توافر الشروط التالية:

1 توافر اليورانيوم المخصّب

يحتوي اليورانيوم الخام على انوية $\left({}^{235}_{92}U\right)$ و $\left({}^{238}_{92}U\right)$ والنوع الذي ينشطر هو $\left({}^{235}_{92}U\right)$ وتكون نسبته قليلة في المادة الخام لذلك لا بد من زيادة نسبته وتسمى هذه العملية **بالتخصيب**

في المادة الخام تكون نسبة اليورانيوم $\left({}^{235}_{92}U\right)$ تقريباً (0.71%) واليورانيوم $\left({}^{238}_{92}U\right)$ نسبته (99.27%)

2 الكتلة الحرجة

هي أقلّ كتلة من الوقود النووي تضمن استمرار حدوث التفاعل المتسلسل، وتضمن عدم تسرّب النيوترونات خارجه

◈ المفاعل النووي

" هو النظام الذي يهيّئ الظروف المناسبة لاستمرار حدوث التفاعل المتسلسل والسيطرة عليه بالمفاعل النووي"

يتكون المفاعل النووي من الأجزاء التالية:

1 الوقود النوويّ

يوضع اليورانيوم المخصب على شكل أقراص فوق بعضها البعض في انابيب طويلة لتشكل قضبان الوقود النووي

2 قُضبان التحكّم

تصنع من مواد لها القدرة على امتصاص النيوترونات مثل، الكادميوم - 113 ، والبورون – 1

عند ادخال عدد مناسب منها بين حزم الوقود النووي تمتص بعضاً من النيوترونات مما يؤدي إلى ابطاء التفاعل النووي وبذلك نستطيع التحكم في الطاقة الناتجة من التفاعل

3 المواد المُهدّئة

هي موادّ ذات أعداد كتلية صغيرة، مثل: الماء الثقيل، والماء العادي، والغرافيت

تبطئ هذه المواد النيوترونات الناتجة من التفاعل لزيادة احتمالية حدوث انشطار جديد، حيث ان احتمالية حدوث الانشطار تزداد كلما كان النيترون يمتلك طاقة حركة اقل (ابطئ)

4 نظام التبريد

تُستخدم أبراج تبريد تُزوِّد المفاعل والمكثّف بالماء البارد باستمرار؛ لتبريد المفاعل النووي

5 مولّد بخار الماء

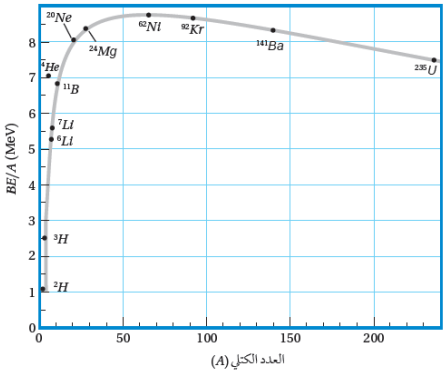
يُحوِّل الماءَ الساخن والمضغوط القادم من قلب المفاعل إلى بخار ماء يُستخدم في إدارة توربينات متّصلة بمولّدات كهربائية لتوليد الطاقة الكهربائيّة.

المفاعل نووي الذي يَستخدم الماء في عملية التبريد، يُسمّى مفاعل الماء المضغوط

◈ الاندماج النوويّ

التعريف

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



النوى الأكثر قابليليه للاندماج هي النوى الخفيفة التي تقع على يسار المنحنى في الشكل المجاور

من الأمثلة على تفاعل الاندماج اندماج نواتا نظيري الهيدروجين؛ الديتيريوم $\left({}_{1}^{2}\mathrm{H}\right)$ والتريتيوم $\left({}_{1}^{3}\mathrm{H}\right)$ لتكوين نواة الهيليوم $\left({}_{2}^{4}\mathrm{He}\right)$

يصاحب التفاعل السابق انبعاث نيوترون بالإضافة لوجود نقص في الكتلة بين المتفاعلات والنواتج تتحول إلى طاقة

هنالك العديد من الأمثلة على تفاعل الاندماج التي تحدث داخل الشمس منها

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

$${}_{1}^{1}\mathrm{H}+{}_{1}^{1}\mathrm{H}\longrightarrow{}_{1}^{2}\mathrm{He}+{}_{1}^{0}e^{+}+\nu$$

$${}_{1}^{1}\mathrm{H}+{}_{1}^{2}\mathrm{H}\longrightarrow{}_{2}^{3}\mathrm{He}+\gamma$$

تسمى التفاعلات السابقة **بالتفاعلات الحرارية** لأنها تحتاج لحرارة عالية جداً حتى تحدث

تزود الحرارة النواتين الداخلتين في التفاعل بطاقة كافية للتغلب على قوة التنافر الكهربائية وبدأ تأثير القوة النووية

تفاعل الاندماج النووي ينتج طاقة كما يحدث في تفاعل الانشطار النووي إلا انه لا ينتج انوية مشعة كما يحدث في الانشطار

مثال (1)

أحسب الطاقة Q الناتجة من تفاعل الانشطار الآتي:

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

حيث كتل النوى مُعطاة في الجدول الآتي:

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

الحل:

$$Q = [m_a + m_x - (m_b + m_y)] \times 931.5$$

$$Q = (1.0087 + 234.9934 - (140.8840 + 91.9063 + 3 \times 1.0087)) + 931.5$$

$$Q = 0.1857 \times 931.5 = 172.98 \text{ MeV}$$

مثال (2)

أجد طاقة التفاعل Q لتفاعل الاندماج الآتي:

$$ {}^{1}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}He + \gamma $$

حيث كتلة النوى بوحدة الكتل الذرية كما في الجدول التالي

${}^{1}_{1}H$	${}^{3}_{2}He$	${}^{2}_{1}H$
1.0073	3.0149	2.0136

الحل:

$$Q = [m_a + m_x - (m_b + m_y)] + 931.5$$

$$Q = (1.0073 + 2.0136 - 3.0149) \times 931.5$$

$$Q = 0.0060 \times 931.5 = 5.6 \text{ MeV}$$

مثال (3)

للتفاعلين النوويين الآتيين، أجيب عمّا يأتي

$$ {}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}H + {}^{1}_{0}n $$

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

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

أ . أيّ التفاعلين تفاعل اندماج نووي؟ وأيّهما تفاعل انشطار نووي؟

ب. أتوقّع: لكلا التفاعلين، أيهما يمتلك طاقة ربط نوويّة لكل نيوكليون أكبر: النوى الناتجة من التفاعل أم النوى الداخلة فيه؟

ج. أحسب الطاقة الناتجة من التفاعل لكلا التفاعلين.

د .أحسب الطاقة الناتجة لكل نيوكليون لكلا التفاعلين. أيّهما أكبر؟

هـ. أيّ التفاعلين يُنتِج طاقة أكبر للكتلة نفسها من الموادّ الداخلة في التفاعل؟

الحل:

أ) التفاعل الأول يمثل تفاعل اندماج نووي والثاني يمثل تفاعل انشطار نووي.

ب) المواد الناتجة تمتلك طاقة ربط نووية لكل نيوكليون أكبر لكلا التفاعلين

ج) لتفاعل الاندماج

$$Q=[m_a+m_x-(m_b+m_y)]+931.5$$

$$Q=(2.0136+3.0155-(4.0015+1.0087))\times 931.5$$

$$Q=0.01890\times 931.5=17.6\,\text{MeV}$$

لتفاعل الانشطار

$$Q=[m_a+m_x-(m_b+m_y)]+931.5$$

$$Q=(1.0087+234.9934-(143.8922+88.8979+3\times 1.0087))\times 931.5$$

$$Q=0.1859\times 931.5=173.2\,\text{MeV}$$

د)

لتفاعل الاندماج:

$$\frac{BE}{A}=\frac{17.6}{5}=3.5\,MeV\,/\,neucleon$$

لتفاعل الانشطار

$$\frac{BE}{A}=\frac{173.2}{236}=0.7\,MeV\,/\,neucleon$$

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

هـ)

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

مثال (4)

تتضمن إحدى تفاعلات الاندماج اندماج نواة الديتيريوم $\left({}_{1}^{2}H\right)$ مع نواة التريتيوم $\left({}_{1}^{3}H\right)$ لتكوين نواة الهيليوم $\left({}_{2}^{4}He\right)$ بحسب التفاعل النووي الاتي:

$${}_{1}^{2}H+{}_{1}^{3}H\longrightarrow{}_{2}^{4}He+{}_{0}^{1}n$$

اعتمادا على المعلومات المثبتة في الجدول الاتي اجيب عما يأتي:

النواة	${}_{1}^{3}H$	${}_{1}^{2}H$	${}_{2}^{4}He$
طاقة الربط النووية لكل نيوكليون $\frac{BE}{A}$ (MeV)	2.83	1.11	7.07

1) احسب طاقة الربط النووية لكل نواة في الجدول
2) أجد الفرق بين طاقة الربط النووية للهيليوم ومجموع طاقتي الربط النووية لتريتيوم و الديتيريوم
3) ما مصدر فرق الطاقة المحسوب في الفرع السابق

الحل:

(1

$$BE_{He}=4\times7.07=28.28\,MeV$$
$$BE_{H2}=2\times1.11=2.22\,MeV$$
$$BE_{H3}=3\times2.83=8.49\,MeV$$

(2

$$BE_{He}-\left(BE_{H2}+BE_{H3}\right)=28.28-\left(2.22+8.49\right)=17.57MeV$$

3) تحول جزء من كتلة المواد الداخلة في التفاعل إلى طاقة

مثال (5)

أكمل المعادلات النووية الأتية :

$${}_{1}^{1}P+{}_{13}^{27}Al\longrightarrow{}_{12}^{24}Mg+.....$$
$${}_{0}^{1}n\longrightarrow{}_{1}^{1}P+.....+.....$$
$${}_{92}^{235}U+{}_{0}^{1}n\longrightarrow{}_{92}^{236}U^{*}\longrightarrow{}_{56}^{141}Ba+{}_{36}^{92}Kr+.....$$

الحل

$${}_{1}^{1}P+{}_{13}^{27}Al\longrightarrow{}_{12}^{24}Mg+{}_{2}^{4}He$$
$${}_{0}^{1}n\longrightarrow{}_{1}^{1}P+{}_{-1}^{0}e+\bar{\upsilon}$$
$${}_{92}^{235}U+{}_{0}^{1}n\longrightarrow{}_{92}^{236}U^{*}\longrightarrow{}_{56}^{141}Ba+{}_{36}^{92}Kr+3{}_{0}^{1}n$$

◈ الأسئلة النظرية

عدّد أوجه التشابه وأوجه الاختلاف بين تفاعل الاندماج وتفاعل الانشطار.

الحل:

	الاندماج	الانشطار
التفاعل	اندماج نواتين خفيفتين	انشطار نواة ثقيلة
الوقود المستخدم	نوع 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	توفير درجة حرارة عالية وضغط كبير جداً	ضرب النواة بنيوترون بطيء

فسّر أهميّة درجة الحرارة العالية للتفاعل النووي الاندماجي.

الحل:

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

لماذا يُعدّ استخدام تفاعلات الاندماج النووي، إن أمكن في توليد الطاقة، أقلّ خطرًا على البيئة من استخدام تفاعلات الانشطار النووي؟

الحل:

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

أوضّح المقصود بتفاعل الانشطار النووي

الحل:

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

وضّح المقصود بتفاعل الاندماج النووي

الحل:

اندماج نواتين خفيفتين لتكوين نواة أثقل من كل منهما لها طاقة ربط نووية لكل نيو كلون أكبر من تلك لأي من النواتين

عدد أجزاء المفاعل النووي الرئيسة.

الحل:

1. الوقود النووي. 2. قضبان التحكم. 3. المواد المهدئة. 4. نظام التبريد. 5. مولد بخار الماء.

ما أهميّة استخدام كلٍّ ممّا يأتي في المفاعل النووي؟
أ. القضبان التي تحتوي على الكادميوم.
ب. مُهدِّئات النيوترونات.

الحل:
أ. القضبان التي تحتوي على الكادميوم: امتصاص نيوترونات للتحكم في سرعة التفاعل.
ب. مهدئات النيوترونات: امتصاص جزء من طاقة النيوترونات لتصل للطاقة المناسبة لحدوث الانشطار النووي.

هل يصلح اليورانيوم الخام للاستخدام في المفاعلات النوويّة؟

الحل:
لا يصلح اليورانيوم الخام في المفاعل النووي لأن نسبة اليورانيوم 235 المستخدم في تفاعل الانشطار تكون فيه قليلة جدا (0.7%)

تهدف عملية تخصيب اليورانيوم إلى إنتاج وقود نووي يحتوي على نسبة عالية من:
أ) $\left({}^{238}_{92}U\right)$ ب) $\left({}^{234}_{92}U\right)$ ج) $\left({}^{232}_{92}U\right)$ د) $\left({}^{235}_{92}U\right)$

تُبطَّأ النيوترونات في المفاعل النووي بـ:
أ) الماء الثقيل ب) الكادميوم ج) اليورانيوم د) الهيدروجين

3 تطبيقات على الفيزياء النووية

للفيزياء النووية تطبيقات عدّة في مختلف نواحي الحياة منها:

التعقُّب Tracing

المُتعقّبات هي نظائر مشعّة تُحقن في الجسم للكشف عن خلل وظيفي في أحد أعضائه.

امثلة:

- يُستخدم اليود (131) المشع للكشف عن خلل في عمل الغدة الدرقية، حيث يشربُ المريضُ كمية قليلة من محلول يوديد الصوديوم المشع، ويُشخَّص الخلل في عمل الغدة الدرقية بمعرفة كمية اليود المشع المتبقية فيها مع مرور الزمن
- 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.

ملاحظة :في التطبيقات الطبية يتم تعريض المريض لجرعات إشعاعية متدنيّة ومحسوبة بدقة بحيث لا تؤثر سلبًا فيه.

العلاج بالإشعاع Radiation Therapy

الإشعاعات الناتجة من النظائر المشعة فعالة في قتل الخلايا السرطانية

امثلة:

- يستخدم نظير اليود - 131 المشع في علاج سرطان الغدة الدرقية
- يستخدم الكوبالت - 60 في علاج سرطان الحنجرة.

تحليل المواد Materials Analysis

يمكنُ تحديدُ العناصر التي تُكوّن عينة معينة بطرق عدة منها

1) **طرق كيميائية** (هذه الطرق عادة تتطلب استخدام كمية كبيرة نسبيًّا من العينة)
2) **طرق نووية**

وذلك بقذف كمية قليلة من العينة المراد معرفة تركيبها بالنيوترونات، ما يؤدي إلى تحول العناصر التي امتصت النيوترونات إلى عناصر مشعة، وتُحدَّد هوية تلك العناصر بالكشف عن نوع الإشعاعات الصادرة عن العينة المشعّة وقياس طاقتها.

حفظ المواد الغذائية Food Preserving

الإشعاعات النووية لها قدرة عالية على تعطيل عمل البكتيريا وقتلها. لذلك تيمكن استخدامها بغرض حفظ المواد الغذائية المراد تخزينها مددًا طويلة.

ومن الأمثلة على الاشعة النووية المستخدمة في حفظ الأطعمة:

1) أشعة غاما
2) حزم من الإلكترونات ذات طاقة مرتفعة

ملاحظة : بعد قتل البكتيريا بالأشعة النووية تُحفظ الأطعمة في علب مغلقة لمنع وصول بكتيريا جديدة إليها.

الاثراء والتوسع

الاندماج النووي

☑ مزايا المفاعل النووي الاندماجي

1) توفر وقود النووي الديتيريوم $\left({}_1^2H\right)$ والتريتيوم $\left({}_1^3H\right)$

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

2) إنتاج طاقة كبيرة مقارنة بتفاعلات الانشطار النووي

3) تكوين عدد قليل نسبيًّا من المنتجات الثانوية المشعّة مقارنة بمفاعلات الانشطار النووي

وقود 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.

☑ تفاعل الاندماج النووي في النجوم

تنتج النجوم طاقتها من تفاعلات الاندماج النووي بدورة تُسمّى **دورة البروتون-بروتون**، وتَحدث هذه التفاعلات عند درجة حرارة عالية جدًّا وكثافة عالية جدًّا للبروتونات، ويحاول العلماء عمل مفاعل نووي يحاكي التفاعلات التي تحدث داخل النجوم

☑ المفاعل الاندماجي

وجد العلماء ان تفاعل الاندماج الأنسب للاستخدام في المفاعل النووي الاندماجي هو تفاعل الديتيريوم والتريتيوم

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

ولتطبيق هذا التفاعل نحتاج إلى

1) **درجات حرارة عالية $(8000K)$ تقريباً تؤدي إلى تأيين الذرّات وتكوين نظام من الإلكترونات والأيونات الموجبة يُسمّى بلازما**

2) **ضغط كبير للحصول على كثافة عالية من الأيونات**

إن درجات الحرارة المرتفعة تؤدي إلى نقصان في كثافة الأيونات وهذا يشكل أحد المشكلات الرئيسة التي تواجه انتاج الطاقة من تفاعلات الاندماج النووي.

وقد استطاع العلماء تحقيق تفاعل اندماج الديتيريوم مدّة زمنية قصيرة والتريتيوم جدًّا باستخدام مفاعل اندماجي، يُعرف باسم توكاماك حيث تُحفظ البلازما داخل مجال مغناطيسي.

الربط بالحياة

☑ يمكن استخدام التعقّب الإشعاعيّ في مراقبة تدفّق السوائل والغازات خلال الأنابيب لتحديد أماكن التسرّب. وتَرصد أدوات التعقّب الزراعية تدفّق المُغذّيات عبر النباتات.

☑ تحوي أجهزة إنذار الدخان مصدرًا إشعاعيًّا صغيرًا يُطلِق جسيمات ألفا، وعادةً ما يكون نظير الأمريسيوم - 241 . حيث تعمل جسيمات ألفا على تأيين جزيئات الهواء داخل جهاز الإنذار، ما يؤدي إلى مرور تيار كهربائي. وعندما يمتصّ الدخان بعض جسيمات ألفا، فإنّه يقلّل من عدد الأيونات في الهواء ويقل التيار الكهربائي، فينطلق جهاز إنذار الحريق

الربط بالتكنولوجيا

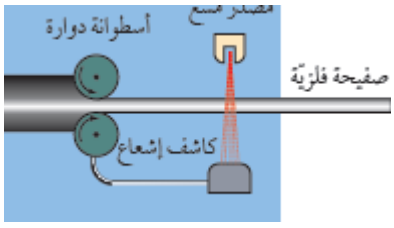
☑ افتُتح المفاعل النوويّ الأردنيّ للبحوث والتدريب برعاية ملكية سامية عام 2016 م في جامعة العلوم التكنولوجيا في مدينة إربد، حيث يعمل بقدرة (5MW) قابلة للزيادة إلى (10MW) ويُستخدم هذا المفاعل في أغراض عدّة، منها:

1) البحث العلميّ 2) إنتاج النظائر المشعّة للاستخدامات الطبية

3) التدريب والتأهيل على التكنولوجيا الإشعاعية والنوويّة.

☑ تُستخدم أشعة غاما في الصناعة للكشف عن الشقوق في لحام المعادن، حيث يوضع مصدر غاما على أحد جانبي اللحام، وتوضع لوحة فوتوغرافية على الجانب الآخر. وسوف تظهر نقاط الضعف في اللحام على اللوحة لفوتوغرافية بطريقة مشابهة لصورة الأشعة السينية للعظم المكسور.

☑ تُستخدم أشعة بيتا في التكنولوجيا لضبط سُمك الورق والصفائح الفلزيّة، فعند زيادة سمك الصفيحة أو نقصه يتغيّر عدد جسيمات بيتا التي تصل إلى الكاشف؛ فيتغيّر التيار الذي يسري عبر جهاز التحكّم والذي يقوم بدوره بضبط المسافة بين الاسطوانتين للحصول على السمك المطلوب.



الربط بالفضاء

☑ مكّنت التكنولوجيا النووية في إنتاج الطاقة العلماء من استكشاف الفضاء بدقة، إذ تُستخدم الطاقة الناتجة من البلوتونيوم لتوليد الكهرباء في مولّدات المركبات الفضائية، مثل المركبة الفضائية فوياجر 1 التي أُطلقت عام 1977 لدراسة النظام الشمسي الخارجي والتي ما زالت ترسل بيانات إلى يومنا هذا.

الربط بعلم الاثار

☑ تحتوي أجسام الكائنات الحية على نظير الكربون المشع $\left({}^{14}_{6}C\right)$ ونسبته لنظير الكربون المستقر $\left({}^{12}_{6}C\right)$ ثابتة في أجسام الكائنات الحيّة خلال وجودها على قيد الحياة. وبمجرد موت الكائن الحي تقل هذه النسبة. وبمعرفة هذه النسبة يستطيع علماء الآثار حساب زمن وفاة الكائن الحيّ.

الربط بعلوم الأرض

☑ غاز الرادون المشع أحد النظائر في سلسلة اليورانيوم. يستقصي الجيولوجيون نسبة الرادون في المياه الجوفية والتربة للتنبؤ بالنشاط الزلزالي. فزيادة تركيزه قد تكون علامة على وقوع زلزال قريب. ويستطيع الجيولوجيون تقدير عمر الصخور من معرفة نسبة الرصاص إلى اليورانيوم – 238 في الصخور