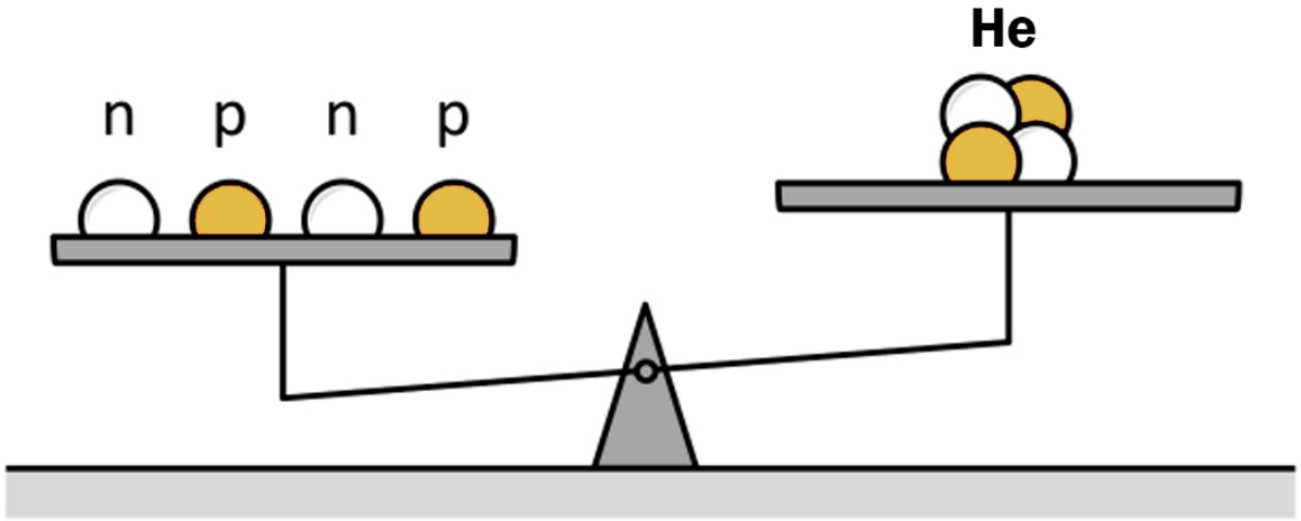
الدرس ٩-٢

الكتلة والطاقة



سلطنة عُمان
وزارة التربية والتعليم

فيزياء

الثاني عشر

2023-2024

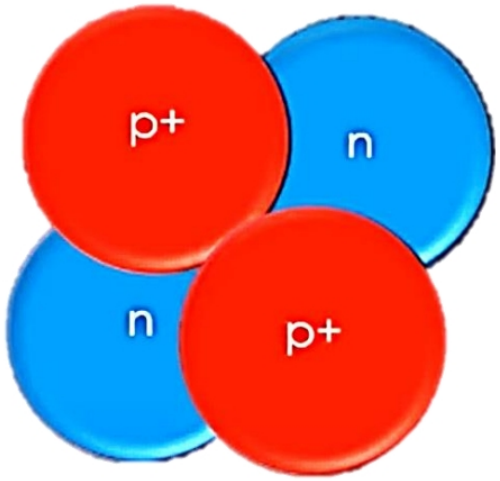
الوحدة التاسعة:

الفيزياء النووية

عروض تفاعلية
للصف الثاني عشر
إعداد الأستاذة فاطمة الراشدية

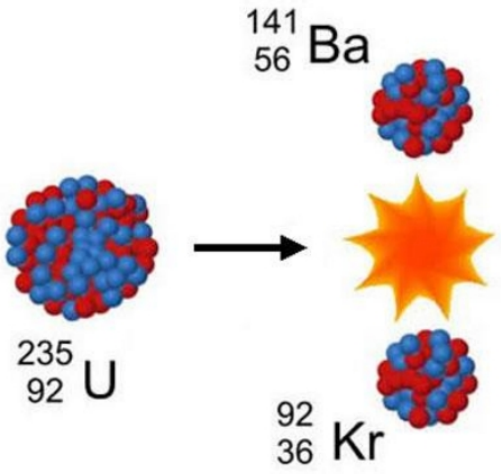
9-2	يستخدم معادلة تكافؤ الطاقة والكتلة $E = mc^2$	● يشرح معنى أن الطاقة والكتلة متكافئتان على المقياس النووي. ● يستخدم المعادلة التي تربط بين الطاقة والكتلة وسرعة الضوء لشرح تكافؤ الطاقة والكتلة. ● يستخدم معادلة تكافؤ الطاقة والكتلة لشرح التغيّرات في النوى والاختلافات بينها.
9-3	يعرّف مصطلحَي النقص في الكتلة Δm وطاقة الربط النووي ΔE ويستخدمهما.	● يُعرّف مصطلح النقص في الكتلة Δm . ● يستخدم النقص في الكتلة (Δm) عند شرح اختلافات الطاقة والكتلة في النوى وتغيّراتها.
9-4	يحسب الطاقة المتحرّرة في التفاعلات النووية باستخدام المعادلة $E = \Delta m\, c^2$	● يحسب Δm. ● يحوّل بين الكتل المعطاة بالكيلوغرام والمعطاة بوحدة الكتلة الذرية. ● يستخدم المعادلة التي تربط بين الطاقة والكتلة وسرعة الضوء لتحويل قيم الطاقة والكتلة.

تمهيد



النواه المستقرة عبارة عن بروتونات مشحونة بشحنة موجبة فلماذا لا تتنافر مع بعضها ؟ ما الذي يحافظ على ارتباط النيوكليونات ببعضها ؟

بسبب القوى النووية ، لذا فهي تتطلب الكثير من الطاقة لتفكيكها (للخروج من بئر الطاقة)



نواة ذرة غير مستقرة تحرر طاقة، كيف يمكن حساب الطاقة المنبعثة من الانحلال الاشعاعي؟

فكر

إذا تم قياس كتلة نواة لكربون 12 ومقارنتها بكتلة مكوناتها منفصلة هل تتساوى الكتلتين ؟

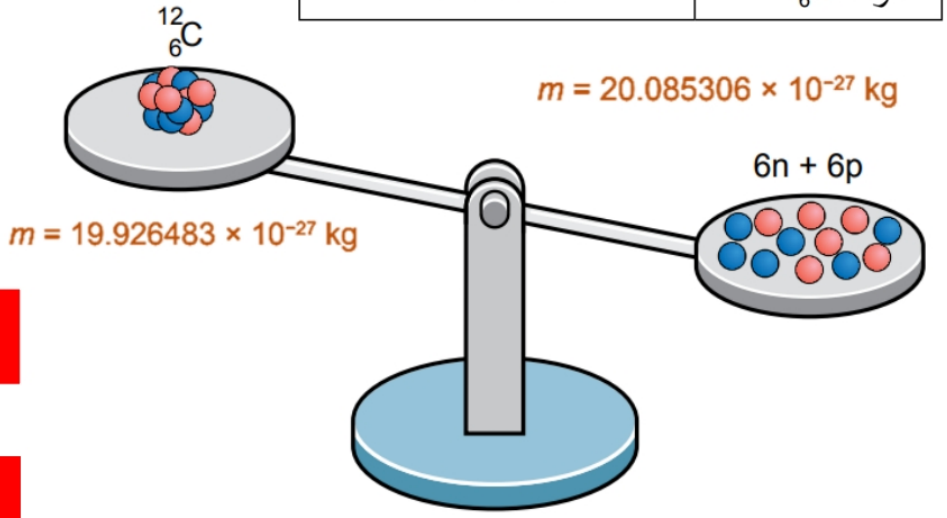
الجسيم	كتلة السكون (10^{-27} kg)
البروتون $_{1}^{1}p$	1.672623
النيوترون $_{0}^{1}n$	1.674928
نواة $_{6}^{12}C$	19.926483

مصطلحات علمية

النقص في الكتلة Mass defect: الفرق بين مجموع كتل النيوكليونات منفردةً وكتلة النواة.

Δm = مجموع كتل النيوكليونات منفردة – كتلة النواة

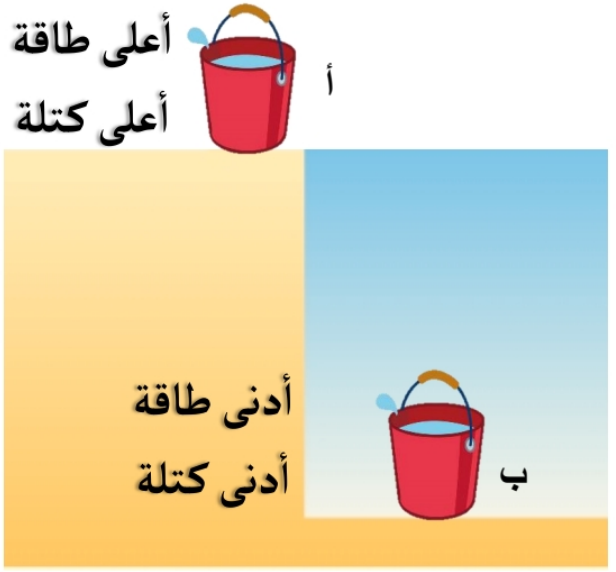
ما تفسير هذا النقص في كتلة النواة؟



الشكل ٩–٢ كتلة النواة أقل من الكتلة الكلية لمكوناتها من البروتونات والنيوترونات.

فرضية اينشتاين

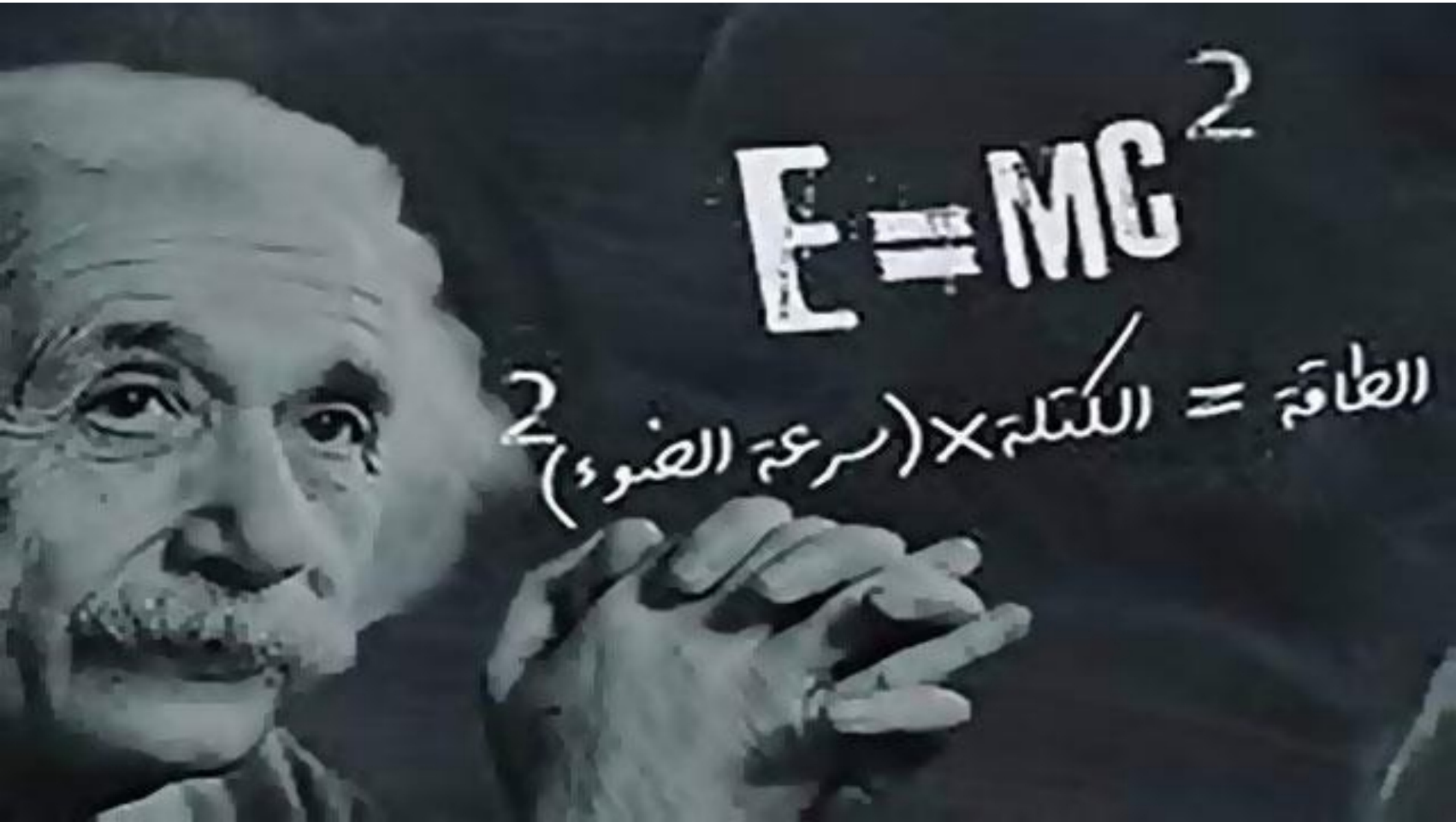
برأيك أيهما يملك كتلة أكبر حالة الجسم في الوضع أ أم ب ؟



افترض آينشتاين أن الكتلة تكافئ الطاقة ، بحيث أن الزيادة في الطاقة تعني زيادة في الكتلة والعكس صحيح

في الأمثلة السابقة يكون الزيادة في الكتلة متناهية جدا في الصغر بحيث لا يمكن ملاحظتها

في الفيزياء النووية وفيزياء الطاقة العالية (كمسرع الجسيمات) تكون التغيرات في الكتلة مهمة ولا يمكن إهمالها


$E=MC^2$
الطاقة = الكتلة × (سرعة الضوء)^2

معادلة الكتلة والطاقة لآينشتاين

إن النقص في الكتلة يتحول إلى طاقة والعكس صحيح.

معادلة آينشتاين لتكافؤ الكتلة والطاقة:

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

- E: الطاقة (J)
- Δm: النقص في الكتلة (kg)
- c: سرعة الضوء: $c = 3.00 \times 10^8\ m\ s^{-1}$

- كتلة النظام **تزداد** عندما **يزوّد** بالطاقة.

Δm = قيمة موجبة

مثال : تفكيك النواة إلى مكوناتها إلى ما لانهاية

مجموع كتل النيوكليونات منفصلة $\uparrow m$ ← كتلة النواة $\downarrow m$ + $E_{مزودة}$

- كتلة النظام **تتناقص** عندما **تنبعث** الطاقة منه.

Δm = قيمة سالبة

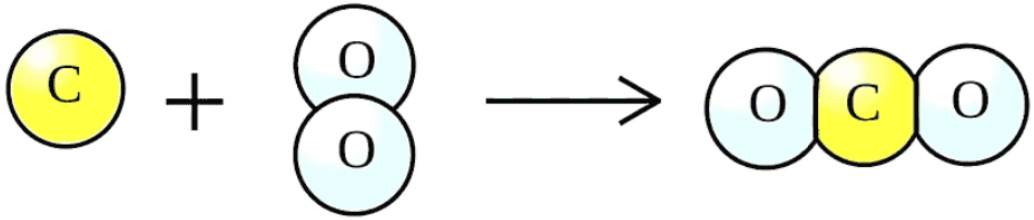
مثال : تشكيل نواة من بروتونات ونيوترونات منفصلة

مجموع كتل النيوكليونات منفصلة $\uparrow m$ ← كتلة النواة $\downarrow m$ + $E_{منبعثة}$

حفظ الكتلة-الطاقة

أشار آينشتاين أن معادلته تنطبق على جميع تغيرات الطاقة.

مثال : التفاعلات الكيميائية



$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

مجموع الكتل بعد التفاعل $>$ مجموع الكتل قبل التفاعل

Δm = صغير جدا لا يمكن ملاحظته

أسئلة

(٣) تحرّر الشمس كميات هائلة من الطاقة، فالقدرة الناتجة من الشمس تساوي (4.0×10^{26} W). قدّر مقدار النقص في كتلتها في كل ثانية بسبب فقدان هذه الطاقة.

(٤) **أ.** احسب الطاقة المنبعثة إذا تشكّلت نواة ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ من بروتونات ونيوترونات منفصلة وساكنة. استخدم كتل الجسيمات المعطاة في الجدول ٩-٢.

ب. احسب الطاقة المنبعثة لكل نيوكليون.

الجسيم	الكتلة ($\times 10^{-27}$ kg)
البروتون ${}^{1}_{1}\mathrm{p}$	1.672623
النيوترون ${}^{1}_{0}\mathrm{n}$	1.674928
نواة ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$	6.644661

الجدول ٩-٢ كتل بعض الجسيمات.

(٥) إذا علمت أن الكتلة السكونية لكرة جولف تساوي (150 g)، فاحسب الزيادة في كتلتها عندما تنتقل بسرعة ($50\ \mathrm{m\ s^{-1}}$). ما نسبة هذه الزيادة في الكتلة كنسبة مئوية من الكتلة السكونية؟

وحدة الكتل الذرية u

تستخدم وحدة الكتل الذرية للتعبير عن الكتل الصغير جدا (الكتل الذرية والنووية)

النواة	الرمز	الكتلة بوحدة (u)
البروتون	$^{1}_{1}p$	1.007276
النيوترون	$^{1}_{0}n$	1.008665
الهيليوم-4	$^{4}_{2}He$	4.001506
الكربون-12	$^{12}_{6}C$	12.000000
البوتاسيوم-40	$^{40}_{19}K$	39.963998
اليورانيوم-235	$^{235}_{92}U$	235.043930

الجدول ٩-٣ كتل بعض الجسيمات بوحدة الكتلة الذرية u، قيست بعضها إلى عدة منازل عشرية أكثر مما هو مبيّن هنا.

مصطلحات علمية

وحدة الكتلة الذرية

Atomic mass unit:

$\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة كربون-12

وحدة الكتل الذرية u =

$1\ u = 1.66054 \times 10^{-27}\ kg$

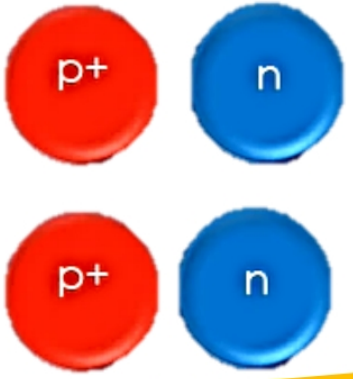
تمرين:

احسب الطاقة المنبعثة إذا تشكلت نواة الهيليوم؟

علما بأن
كتلة البروتون = 1.00728u
كتلة النيترون = 1.008867u
كتلة نواة الهيليوم = 4.003u

وحدة الكتل الذرية u =
$1\ u = 1.66054 \times 10^{-27}\ kg$

الكتلة الكلية = كتلة ٢ بروتون + كتلة ٢ نيترون
= 4.032294u

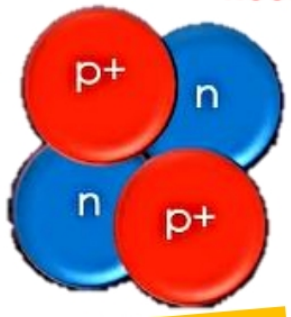


- كتلة نواة الهيليوم أقل من كتلة مكوناتها منفصلة.
إن مقدار الفرق في الكتلة Δm = 0.029294u.

$\Delta m\ C^2 = E$

طاقة E

4.003u



أسئلة

٦ **أ.** كتلة ذرة الحديد $^{56}_{26}Fe$ تساوي (55.934937 u). احسب كتلتها بوحدة الـ kg.

ب. كتلة ذرة الأكسجين $^{16}_{8}O$ تساوي (2.656015×10^{-26} kg). احسب كتلتها بوحدة الكتلة الذرية u.

٧ يعطي الجدول ٩-٣ كتل عدة جسيمات (بوحدة الكتلة الذرية u). استخدم الجدول لتحديد ما يأتي (بثلاثة أرقام معنوية):

أ. كتلة نواة الهيليوم-4 بالكيلوغرام (kg).

ب. كتلة (1.0 mole) من أنوية اليورانيوم-235 بالغرام (g).

(عدد أفوجادرو: $N_A = 6.02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$)

٣ مضاد البروتون ($\bar{p}$) يماثل البروتون (p) ما عدا أن له شحنة سالبة. عندما يتصادم البروتون ومضاد البروتون فإنهما يتلاشيان ويتكوّن فوتونين، وتتحوّل كتلتا الجُسيمَين إلى طاقة.

أ. احسب الطاقة المنبعثة في التفاعل.

ب. احسب الطاقة المنبعثة إذا تلاشى (1 mole) من البروتونات و (1 mole) من مضاد البروتونات بهذه العملية.

(كتلة البروتون = كتلة مضاد البروتون = 1.67×10^{-27} kg).

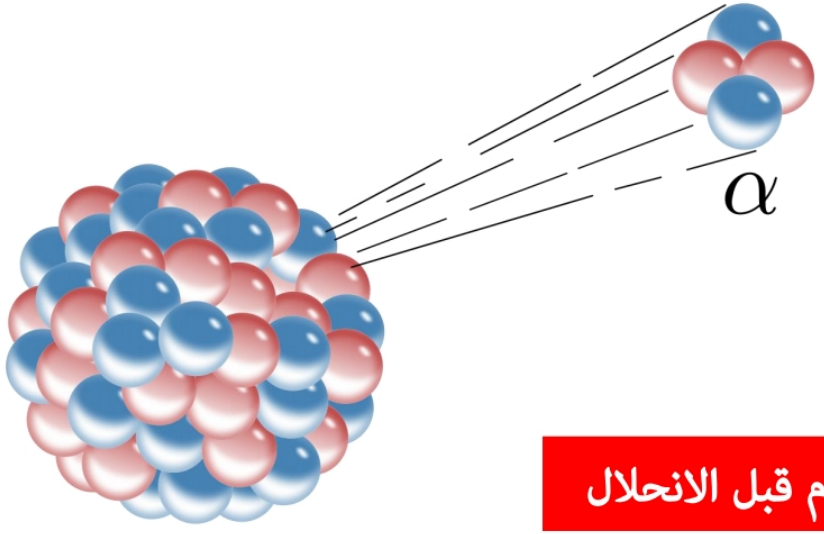
٤ احسب الكتلة التي ستتلاشى لتحرير (1.0 J) من الطاقة.

الطاقة المنبعثة من الانحلال الاشعاعي

معادلات الانحلال

نواة أم غير مستقرة ⟵ نواة وليدة أكثر استقرارا + جسيم مشع + E

(طاقة عالية أي كتلة عالية) (طاقة أقل أي كتلة أقل) α أو β



الطاقة المنبعثة من الانحلال الاشعاعي للأنوية الغير مستقرة تكون على شكل **طاقة حركة هائلة** للنواتج.

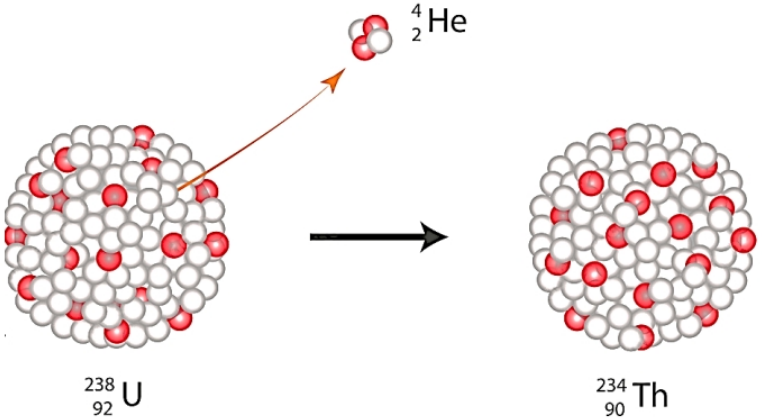
$$E = \Delta m c^2$$

Δm = كتلة النظام بعد الانحلال – كتلة النظام قبل الانحلال

إشارة **السالب** تدل على **نقص** في الكتلة أي **تحرر في الطاقة**

مثال

احسب كمية الطاقة الناتجة من مول واحد من أنوية يورانيوم-238 ينحل وفقا للمعادلة التالية :



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

مول واحد يحتوي عدد أفوجادرو من الأنوية (6.02×10^{23} نواة)

كتلة نواة اليورانيوم ($^{238}_{92}U$) = 3.95283×10^{-25} kg

الكتلة الكلية لنواة الثوريوم ($^{234}_{90}Th$) وجسيم ألفا ($^{4}_{2}He$) = 3.95276×10^{-25} kg

عدد أفوجادرو $\times$ $E = \Delta mc^2$ لمول واحد

سؤال

(٨) تنحل نواة البريليوم–10 ($^{10}_{4}\mathrm{Be}$) إلى نظير البورون B بانبعاث β^-.

أ. اكتب معادلة الانحلال النووي لنواة البريليوم–10.

ب. احسب الطاقة المنبعثة في هذا الانحلال واذكر شكلها.

(كتلة نواة البريليوم–10 ($^{10}_{4}\mathrm{Be}$) = 1.66238×10^{-26} kg

كتلة نظير البورون = 1.66219×10^{-26} kg

كتلة الإلكترون = 9.10938×10^{-31} kg)

٦ تبيّن المعادلة الآتية الانحلال الإشعاعي للرادون-222.

$$^{222}_{86}\mathrm{Rn} \longrightarrow {}^{218}_{84}\mathrm{Po} + {}^{4}_{2}\alpha + \gamma$$

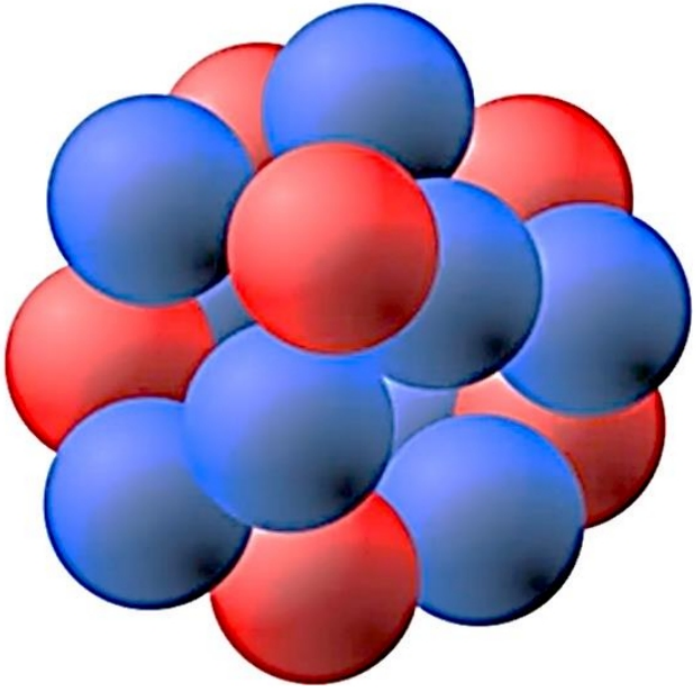
احسب الطاقة الكلية الناتجة من هذا الانحلال وحدّد أشكالها.

(كتلة $^{222}_{86}\mathrm{Rn}$ = 221.970 u ، كتلة $^{218}_{84}\mathrm{Po}$ = 217.963 u ، كتلة $^{4}_{2}\alpha$ = 4.002 u ،
1 u هي وحدة الكتلة الذرية = 1.660×10^{-27} kg).

(**تلميح:** جِد النقص في الكتلة بوحدة u، ثم حوّلها إلى kg).

الدرس ٩-٤

طاقة الربط النووي واستقرار النواة



سلطنة عُمان
وزارة التربية والتعليم

فيزياء

الثاني عشر

2023-2024

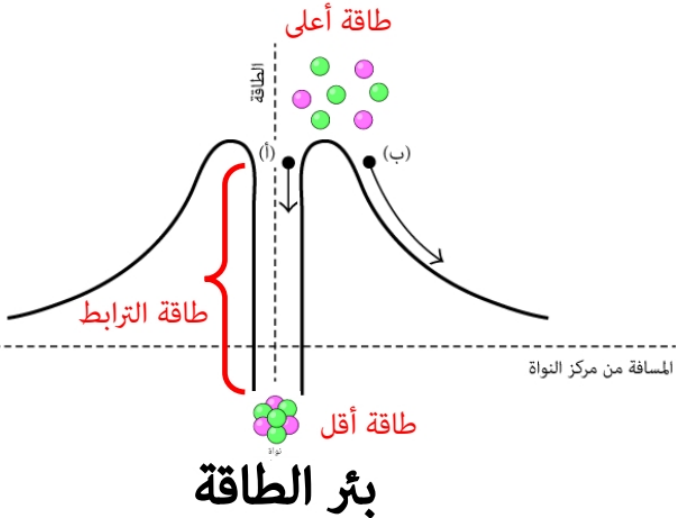
الوحدة الثامنة:

فيزياء الكم

عروض تفاعلية
للصف الثاني عشر
إعداد الأستاذة فاطمة الراشدية

طاقة الربط النووي

لتفكيك النواة يجب تزويدها بالطاقة ، وكلما زادة الطاقة زاد استقرار النواة:



بئر الطاقة

مصطلحات علمية

طاقة الربط النووي Nuclear binding energy: أدنى طاقة خارجية مطلوبة لفصل جميع نيوترونات وبروتونات نواة ما تمامًا إلى ما لا نهاية.

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

وحدة القياس للطاقة الربط:

- الجول (J)
- ميغا إلكترون فولت (MeV)

طاقة الربط النووي لكل نيوكليون

يتم مقارنة استقرار الأنوية المختلفة من خلال المقارنة بين طاقة الربط لكل نيوكليون وتحسب كالتالي:

$$E_{\text{لكل نيوكليون}} = \frac{E}{\text{عدد النيوكليونات}} = \frac{\Delta m\, c^2}{A}$$

Δm = مجموع كتل النيوكليونات منفردة – كتلة النواة

٧ تتكوّن ذرة الكربون–12 من ستة بروتونات وستة نيوترونات وستة إلكترونات. تُعرّف وحدة الكتلة الذرية (u) بأنها $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون–12. احسب:

أ. النقص في الكتلة بالكيلوغرام.

ب. طاقة الربط النووي.

ج. طاقة الربط لكل نيوكليون.

(كتلة البروتون = 1.007276 u ، كتلة النيوترون = 1.008665 u ، كتلة الإلكترون = 0.000548 u)

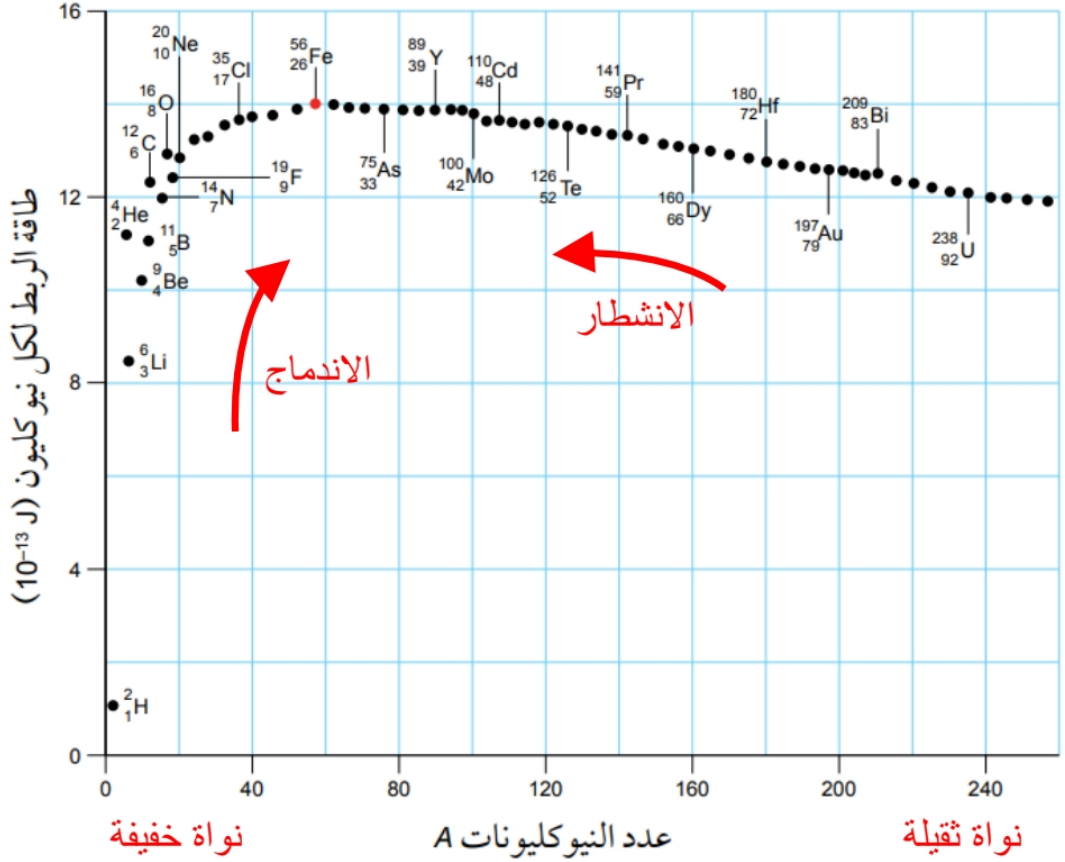
١٣ نواة اليورانيوم–235 ($^{235}_{92}U$) تبلغ كتلتها (3.89×10^{-25} kg).

أ. ما عدد البروتونات والنيوترونات في هذه النواة؟

ب. اشرح سبب اختلاف الكتلة الكلية للنيوكليونات عن كتلة نواة اليورانيوم.

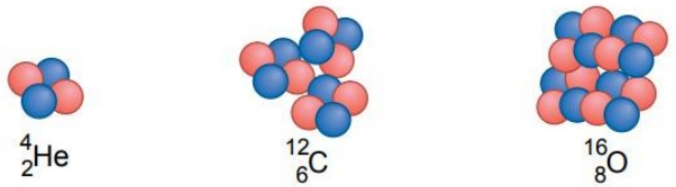
ج. اشرح بدون إجراء حسابات، كيف يمكنك تحديد طاقة الربط لكل نيوكليون لنواة اليورانيوم–235 من كتلتها وكتلتَي البروتون والنيوترون.

منحنى طاقة الربط النووي لكل نيوكليون لعدد من الأنوية



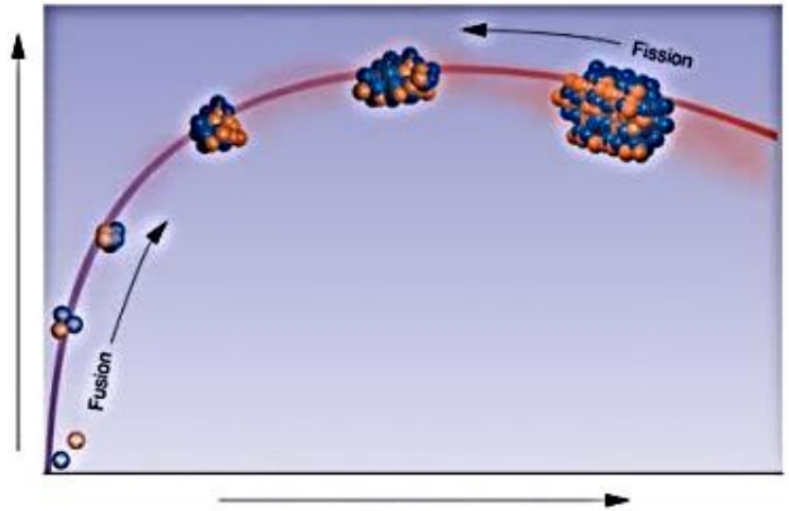
الشكل ٩-٣ يبيّن هذا التمثيل البياني طاقة الربط لكل نيوكليون لعدد من الأنوية، حيث تصبح الأنوية أكثر استقرارًا مع زيادة طاقة الربط لكل نيوكليون.

- الأنوية الخفيفة لها طاقة ربط لكل نيوكليون منخفضة إلا الهيليوم (أكثر استقرارا)



- هناك زيادة حادة في طاقة الربط لكل نيوكليون للأنوية قليلة النيوكليونات $A < 20$ (حيث يحدث الاندماج النووي).
- الأنوية التي لها $A > 20$ لا يوجد تباين كبير في طاقة الربط.
- هناك انخفاض في طاقة الربط لكل نيوكليون للأنوية كثيرة النيوكليونات $A > 40$(حيث يحدث الانشطار).
- الحديد أكثر النظائر استقرارا في الطبيعة.
- يستخدم هذا المنحنى لتحديد العملية النووية (إنشطار أم اندماج)

الانشطار النووي



العملية التي يتجزأ فيها نواة ثقيلة إلى نواتين أصغر(ليس مجرد انبعاث ألفا أو بيتا).

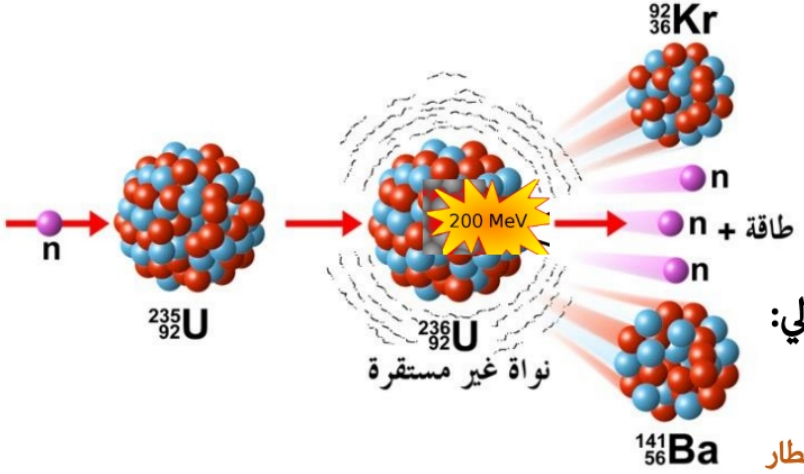
الانشطار المستحث : التدخل من مؤثر أو عامل خارجي لتحفيز عملية الانشطار.

طاقة الربط النووي الكلية بعد الانشطار أكبر من قبل الانشطار.

مثال

$$ {}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{236}_{92}U \longrightarrow {}^{142}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 2\,{}^{1}_{0}n + E $$

بعد الانشطار	قبل الانشطار
(أكثر استقرارا)	(غير مستقرة)
نواتان أصغر	نواة أثقل
كتلة النظام أقل	كتلة النظام أكبر
طاقة الربط النووي أكبر	طاقة الربط النووي أقل



www.chemistrysources.com

ينتج من الانشطار النووي طاقة منبعثة (على شكل طاقة حركة للنواتج) تحسب كالتالي:

إما بفرق الكتلة Δm بين النواتج والأنوية الأصلية $E = \Delta m \times c^2$

أو بفرق الطاقة ΔE = طاقة الربط النووي الكلية بعد الانشطار – طاقة الربط النووي الكلية قبل الانشطار

لا يحدث الانشطار للأنوية الخفيفة $A < 20$ (الناتج: طاقة الربط النووي لكل نيوكليون أقل)، لذا يتطلب التفاعل تزويده بطاقة خارجية.

الاندماج النووي

العملية التي ترتبط من خلالها نواتان خفيفتان جدا لتشكلا معا نواة أثقل.

يحدث الإندماج عند درجات حرارة عالية جدا فقط (للتغلب على قوى التنافر الكهروستاتيكية بين الأنوية المندمجة، كلما زادت شحنة النواة زادت القوى الكهروستاتيكية)

طاقة الربط النووي الكلية بعد الاندماج أكبر من قبل الاندماج.

مثال:

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

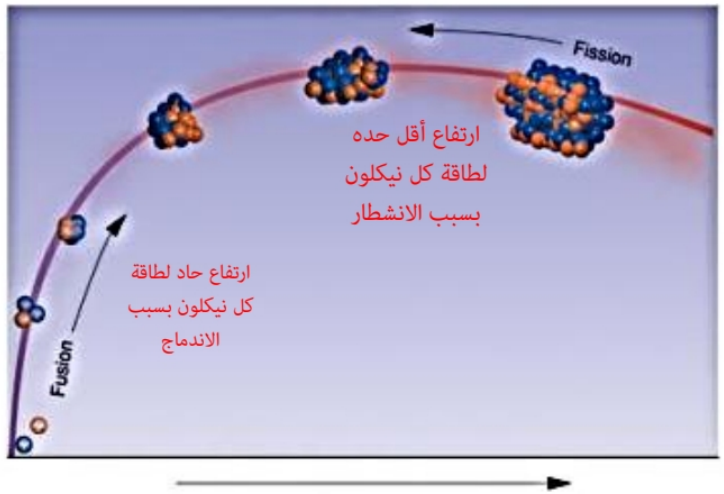
قبل الاندماج	بعد الاندماج
(أقل استقرارا)	(أكثر استقرارا)
نواتان خفيفتان	نواة أثقل
كتلة النظام أكبر	كتلة النظام أقل
طاقة الربط النووي أقل	طاقة الربط النووي أكبر

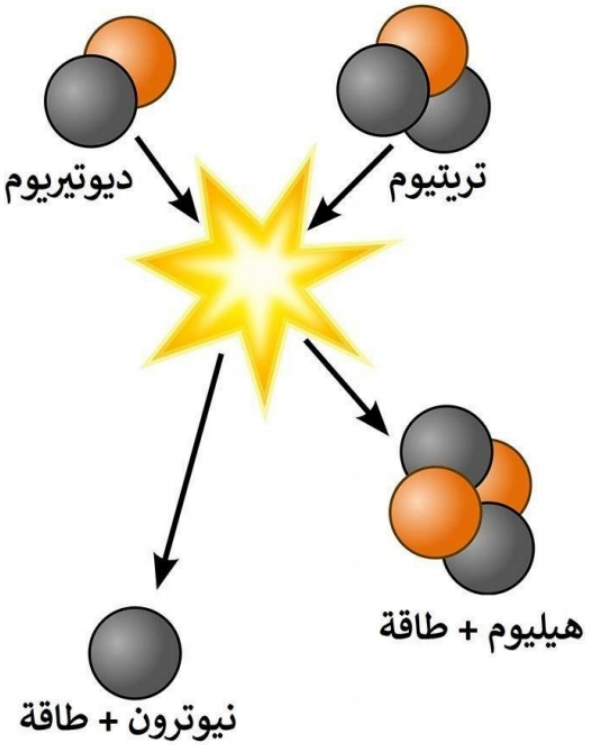
ينتج من الاندماج النووي طاقة منبعثة (على شكل طاقة حركة للنواتج) تحسب كالتالي:

إما بفرق الكتلة Δm بين النواتج والأنوية الأصلية $E = \Delta m \times c^2$

أو بفرق الطاقة ΔE = طاقة الربط النووي الكلية بعد الاندماج – طاقة الربط النووي الكلية قبل الاندماج

لا يحدث الاندماج للأنوية الثقيلة $A > 40$ (الناتج : طاقة الربط النووي لكل نيوكليون أقل)، لذا يتطلب التفاعل تزويده بطاقة خارجية (كأن يكون للأنوية الابتدائية طاقة حركة كبيرة).





قوانين مهمة

(عدد أڤوجادرو: $N_A = 6.02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$)

كتلة مول واحد من الأنوية = كتلة نواة واحدة × عدد افوجادرو

$$\text{عدد المولات} = \frac{\text{الكتلة الكلية}}{\text{كتلة مول واحد (المولية)}}$$

$$\text{عدد المولات} = \frac{\text{الطاقة الكلية المنبعثة (الناتجة)}}{\text{الطاقة المنبعثة من مول واحد}}$$

$$\text{عدد المولات} = \frac{\text{عدد الأنوية في عينة ما}}{\text{عدد أفوجادرو}}$$

$$\text{عدد الأنوية} = \frac{\text{الكتلة الكلية}}{\text{كتلة نواة واحدة}}$$

$$\text{عدد الأنوية} = \frac{\text{الطاقة الكلية المنبعثة (الناتجة)}}{\text{الطاقة المنبعثة من نواة واحدة}}$$

أسئلة

(١١) استخدم التمثيل البياني لطاقة الربط لكل نيوكليون (الشكل ٩-٥) لاقتراح سبب عدم إمكانية حدوث الانشطار مع «الأنوية الخفيفة» التي لها ($A < 20$)، وسبب عدم إمكانية حدوث الاندماج للأنوية الأثقل التي لها ($A > 40$).

(١٢) استخدم المعلومات الواردة عن الاندماج، لحساب طاقة الربط (بوحدة MeV) لكل نيوكليون في كل جسيم في تفاعل الاندماج الآتي:

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

ماذا تلاحظ من إجاباتك؟

٨ تفاعل الاندماج النووي الذي إن تحقق فسوف يؤدي إلى الحصول على تفاعل اندماج نووي آمن، الأمر الذي يفتح الباب لإمكانات واعدة في إنتاج الطاقة الكهربائية، هو اندماج التريتيوم ${}_1^3H$ والديوتيريوم ${}_1^2H$. والمعادلة الآتية تبيّن هذا التفاعل:

$$ {}_1^3H + {}_1^2H \longrightarrow {}_2^4He + {}_1^1H $$

احسب:

أ. التغيّر في الكتلة خلال التفاعل.

ب. الطاقة المنبعثة خلال التفاعل.

ج. الطاقة المنبعثة في حالة تفاعل مول واحد من الديوتيريوم مع مول واحد من التريتيوم.

(كتلة ${}_1^3H$ = 3.015500 u ، كتلة ${}_1^2H$ = 2.013553 u ، كتلة ${}_2^4He$ = 4.001506 u ، كتلة ${}_1^1H$ = 1.007276 u)

٨ تفاعل الاندماج النووي الذي إن تحقق فسوف يؤدي إلى الحصول على تفاعل اندماج نووي آمن، الأمر الذي يفتح الباب لإمكانات واعدة في إنتاج الطاقة الكهربائية، هو اندماج التريتيوم ${}_1^3H$ والديوتيريوم ${}_1^2H$. والمعادلة الآتية تبيّن هذا التفاعل:

$$ {}_1^3H + {}_1^2H \longrightarrow {}_2^4He + {}_1^1H $$

احسب:

أ. التغيّر في الكتلة خلال التفاعل.

ب. الطاقة المنبعثة خلال التفاعل.

ج. الطاقة المنبعثة في حالة تفاعل مول واحد من الديوتيريوم مع مول واحد من التريتيوم.

(كتلة ${}_1^3H$ = 3.015500 u ، كتلة ${}_1^2H$ = 2.013553 u ، كتلة ${}_2^4He$ = 4.001506 u ، كتلة ${}_1^1H$ = 1.007276 u)

١٤ **أ.** اشرح المقصود بالاندماج النووي، واشرح سبب حدوثه عند درجات حرارة عالية جدًا فقط.

ب. التفاعلات الرئيسية التي تزوّد الشمس بالطاقة هي اندماج أنوية هيدروجين لتشكيل أنوية هيليوم، ومع ذلك تحدث تفاعلات أخرى، وإحدى هذه التفاعلات التفاعل المعروف باسم عملية ألفا الثلاثية وهو تصادم ثلاث أنوية هيليوم واندماجها لتشكّل نواة كربون-12.

١. اشرح سبب الحاجة إلى درجات حرارة أعلى لإتمام عملية ألفا الثلاثية من تلك المطلوبة لاندماج الهيدروجين.

٢. احسب الطاقة المنبعثة في عملية ألفا الثلاثية.

(كتلة نواة الهيليوم $(^4_2\text{He}) = 4.001506\ \text{u}$، وكتلة الكربون $(^{12}_6\text{C}) = 12.000000\ \text{u}$، و $1\ \text{u} = 1.660 \times 10^{-27}\ \text{kg}$)