الفيزياء النووية Nuclear Physics

- خصائص النواة
- استقرار النواة والقوى النووية
- طاقة الربط النووية
- النشاط الإشعاعي الطبيعي
- التحلل الإشعاعي بانبعاث جسيمات ألفا
- التحلل الإشعاعي بانبعاث جسيمات بيتا
- التحلل الإشعاعي بانبعاث اشعة جاما
- قانون التحلل الإشعاعي
- عمر النصف الفيزيائي
- الشدة الإشعاعية
- التفاعلات النووية
- التحول النووي بواسطة النيوترونات

- **بعض خصائص النواة:**

1) **تركيب النواة Nucleus structure**
2) **النظائر Isotopes**
3) **كتلة النواة Nuclear mass**
4) **حجم النواة Size of nucleus**

❑ تركيب النواة

- تتكون النواة من بروتونات ونيوترونات تسمى نيوكلونات(نويات) ، مجموعها يسمى بالعدد الكلي A .
- عدد البروتونات في النواة هو العدد الذري Z.
- عدد النيترونات في النواة هو N حيث A=Z+N.
- يوجد في الطبيعة 92 عنصرا تبدأ بالهيدروجين (Z=1) إلى عنصر اليورانيوم (Z=92) ، وبواسطة المعجلات النووية أمكن انتاج عناصر صناعية وصل عددها الذري إلى Z=111.
- أي عنصرX يمكن كتابته كما يلي: ${}^{A}_{Z}X$

❑ النظائر

- النوى التي لها نفس عدد البروتونات (Z) ولكن يختلف عدد النيترونات فيها وبالتالي العدد الكتلي تسمى النظائر.

- نظائر نفس العنصرلها نفس الخواص الكيميائية لأن لها نفس عدد الإلكترونات ونفس التركيب الذري.

- قد لا تكون للنظائر نفس الخواص النووية فمثلا قد يكون لنفس العنصر عدة نظائر بعضها مستقرة والأخرى غير مستقرة(نشطة إشعاعيا).

- هذه النظائرموجودة في العينة الطبيعية بنسب مختلفة، فمثلا الكلور يوجد في الطبيعة كخليط من نظيرين هما $^{35}_{17}Cl$ و $^{37}_{17}Cl$ ويكونان بنسبة 75.53% و 24.47% على التوالي.

❑ كتلة النواة

- النواة تحتوي على بروتونات ونيوترونات (عدا الهيدروجين الخفيف فلا يوجد في نواته نيوترونات).

- كتلة البروتونات والنيوترونات تقريبا متساوية وكتلة الالكترون أقل منها بنحو 1836 مرة لذا فإن كتلة المادة تكون متمركزة في أنوية ذراتها.

- من السهل استخدام وحدة الكتل الذرية (u) بدلا من الكيلو جرام حيث أن:

$$1\ u = 1.660566 \times 10^{-27}\ Kg$$

$$m_p = 1.672648 \times 10^{-27}\, kg = 1.007276u$$

$$m_n = 1.674955 \times 10^{-27}\, kg = 1.008665u$$

$$m_e = 9.109 \times 10^{-31}\, kg = 0.000549u$$

- يعبر أحيانا عن وحدات الكتل الذرية بوحدات الطاقة:

فمن معادلة اينشتاين لتحويل الكتلة إلى طاقة نجد:

$$E = mc^2 = (mass of\ 1u) \times c^2$$

$$E = 1.660566 \times 10^{-27}\, kg \times (3 \times 10^8\, m/s)^2$$

$$= 0.149 \times 10^{-9}\, J$$

$$E = \frac{0.149 \times 10^{-9}}{1.6 \times 10^{-19}} = 9.315 \times 10^8\, eV = 931.5 MeV$$

- إذن: 1u= 931.5 MeV

وبالتالي فإن:

$$m_p = 1.007276u = 938.28MeV$$

$$m_n = 1.008665u = 939.57MeV$$

$$m_e = 0.000549u = 0.511MeV$$

❑ حجم النواة

- يعتمد حجم النواة على عدد النويات (مجموع البروتونات والنيوترونات).
- وجد أن نصف قطر النواة يتناسب مع العدد الكتلي كما يلي:

$$r^3 \propto A$$

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

$$r_0 = 1.2 \times 10^{-15}\, m$$

- وباعتبار أن النواة كرة فإن حجمها يعطى بالعلاقة:

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

- مثال: احسب حجم نواة ذرة الكربون وكثافتها حيث A=12.

$$V = \frac{4}{3}\pi\left(r_0^3 A\right) = \frac{4}{3}\pi\left(1.2\times10^{-15}\right)^3 \times 12 = 8.6859\times10^{-44}\, m^3$$

$$\rho = \frac{M}{V} \approx \frac{12\times1.660566\times10^{-27}}{8.6859\times10^{-44}} = 2.3\times10^{17}\, kg/m^3$$

وهي قيمة عالية جدا تدل على أن المادة النووية مضغوطة جدا داخل النواة.

➢ استقرار النواة والقوى النووية Nuclear stability and nuclear forces

- لكي تكون النواة مستقرة والنيوكلونات بداخلها مترابطة ،لابد أن تكون هناك قوى جاذبة أقوى من قوى التنافر الكهربائي. هذه القوى الجاذبة هي القوى النووية.
- يظهر الأثر الكبير للقوى النووية عند المسافات القصيرة فقط.
- القوى النووية تكون بين النيوكلونات و لا تعتمد على الشحنة الكهربائية، وتكون أكبربحوالي 40 مرة من قوى التنافر الكهربائية بين البروتونات.

الطاقة الرابطة النووية Nuclear binding energy

- كتلة النواة تساوي كتلة النيوكلونات مطروحا منها كتلة الإلكترونات ،أي أن كتلتها أقل دائما من كتلة النيوكلونات.
- فمثلا كتلة نواة الكربون 12 يمكن حسابها كما يلي:

$$M\left({}^{12}_{6}C\right)=12u-6\times 0.000549u=11.996706u$$

- كتلة النيوكلونات في ذرة الكربون:

$$6m_p+6m_n=6\times 1.007276+6\times 1.008665=12.095646u$$

- فيكون الفرق:

$$\Delta m=12.095646u-11.996706u=0.09894u$$

- يمكن حساب الطاقة المكافئة لهذا الفرق في الكتلة حسب اينشتاين كما يلي:

$$\Delta mc^2 = E = 0.09894u \times 931.5MeV/u = 92.2MeV$$

- الفرق في الكتلة Δm يكافئ الطاقة التي استخدمت لربط النيوكليونات مع بعضها وتسمى بالطاقة الرابطة Binding energy.
- الطاقة الرابطة لكل نيوكليون في نواة الكربون 12 هي:

$$\frac{B.E.}{A} = \frac{92.2MeV}{12} = 7.68MeV$$

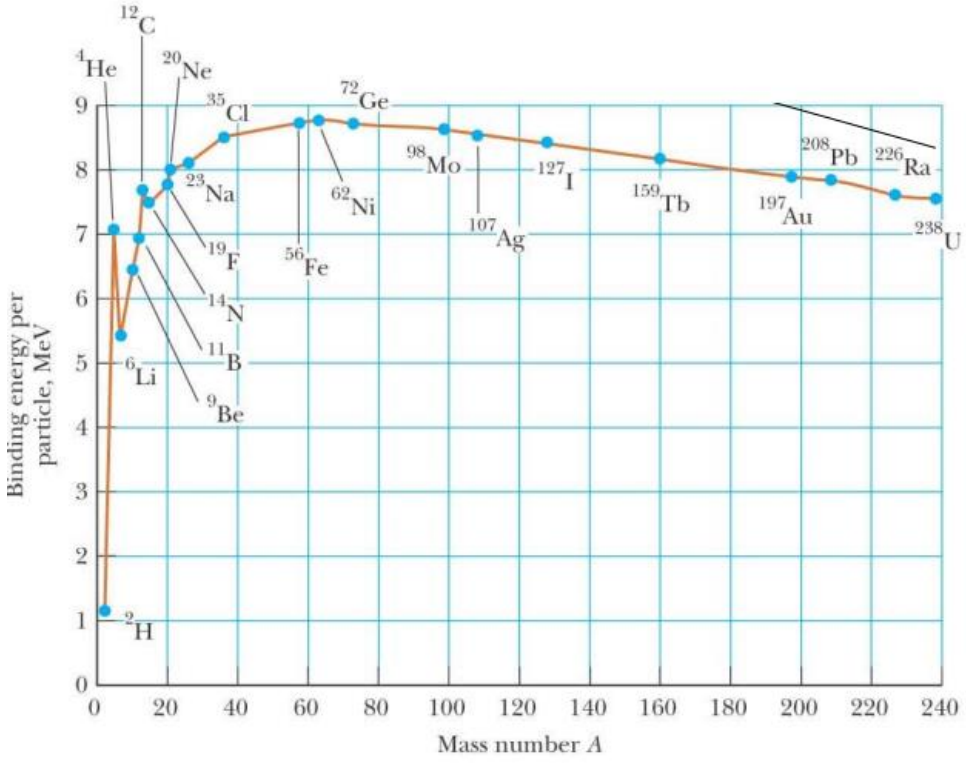
- يمكن كتابة الطاقة الرابطة لأي نواة كما يلي:

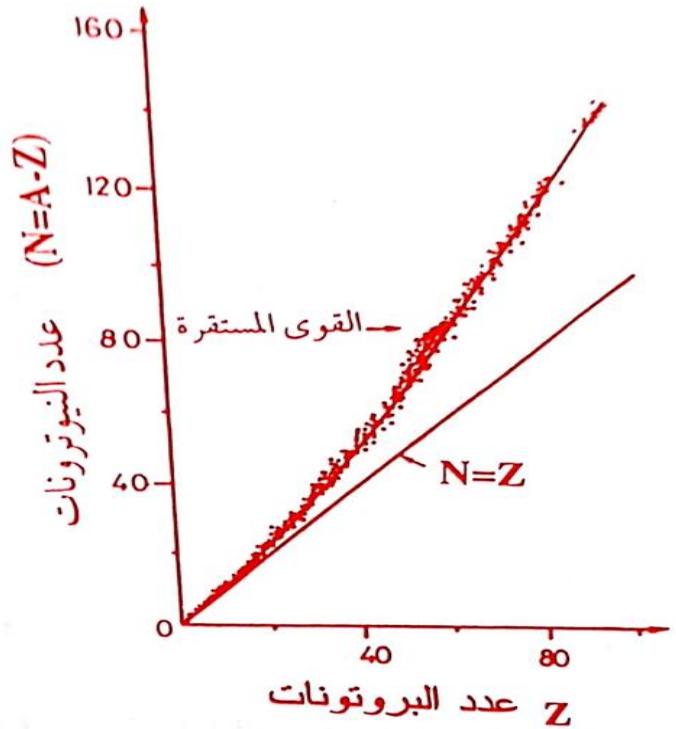
$$B.E = \left(Zm_p + Zm_e + Nm_n - M({}^A_Z X)\right) \times 931.5MeV$$

$$= \left(Zm_H + Nm_n - M({}^A_Z X)\right) \times 931.5MeV,$$

$$m_H = m_p + m_e = 1.007276u + 0.000549u = 1.007825u$$

- تتناقص الطاقة الرابطة لكل نيوكليون بزيادة عدد البروتونات.
- الطاقة الرابطة لكل نيوكليون تكون أكبر ما يمكن عند A=60.
- لأجل النوى الخفيفة (حتى A=40) تكون فيها النواة مستقرة عند Z=N.
- لأجل Z>20 فإن النوى تستقر عندما يزيد عدد النيترونات فيها عن عدد البروتونات.





مثال: احسب الطاقة الرابطة لكل نيوكليون لنواة نظير الحديد 56 $\left({}^{56}_{26}Fe\right)$

مع العلم أن كتلة ذرة نظير الحديد تساوي: $M\left({}^{56}_{26}Fe\right)=55.934937u$

الحل:

$$B.E=\left(Zm_H+Nm_n-M\left({}^{A}_{Z}X\right)\right)\times 931.5MeV,$$

$$Z=26, N=A-Z=56-26=30$$

$$\therefore B.E=\left(26\times 1.007825+30\times 1.008665-55.934937\right)\times 931.5MeV$$

$$=492.2663MeV$$

$$\therefore \frac{B.E}{A}=\frac{492.2663}{56}=8.79MeV/Nucleon$$

➢ النشاط الإشعاعي الطبيعي Natural radioactivity

الإشعاعات المنبعثة من المواد النشطة إشعاعيا (أو المشعة) حسب شحناتها الكهربائية وقدرة نفاذها في المادة تم تصنيفها على ثلاثة أنواع:

1) جسيمات ألفا (α): وهي عبارة عن نواة ذرة الهليوم $\left({}_{2}^{4}He\right)$ وشحنته موجبة وتساوي 2e+ ومداها قصير في الهواء (3cm).

2) إشعاعات جاما (γ): وهي عبارة عن إشعاعات كهرومغناطيسية ليس لها شحنة أو كتلة وطول موجاتها قصير جدا ومداها في الهواء طويل جدا.

3) جسيمات بيتا (β): وهي جسيمات مشحونة وتخترق مسافة طويلة في الهواء(3 m).

وتصنف جسيمات (β) إلى نوعين:

أ- جسيمات بيتا الموجبة (β^+): وهي جسيمات مشحونة بشحنة موجبة وتساوي عدديا شحنة الإلكترون وكتلتها تساوي كتلة الإلكترون.

ب- جسيمات بيتا السالبة (β^-): وهي جسيمات مشحونة بشحنة سالبة وتساوي عدديا شحنة الإلكترون وكتلتها تساوي كتلة الإلكترون، غير أن مصدرها النواة أما الإلكترونات مصدرها مدارات الذرات.

❑ التحلل بانبعاث ألفا Alpha decay

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

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

الطاقة المتحررة نتيجة التحلل التلقائي تسمى طاقة التحلل ويرمز لها عادة ب Q أي أن:

$$ Q = [M(x) - (M(y) + M_{\alpha})] \times 931.5 MeV $$

ولكي تكون النواة باعثة لجسيمات ألفا يجب أن يكون Q>0 .

مثال: هل البولونيوم 210 باعث لجسيمات ألفا إذا علم أن:

$$M(^{210}Po) = 209.98285u$$

$$M(^{206}Pb) = 205.97440u$$

$$M_{\alpha} = 4.002603u$$

الحل: معادلة التحلل هي:

$$^{210}_{84}Po \rightarrow ^{206}_{82}Pb + ^{4}_{2}He$$

$$\therefore Q = \left[M(^{210}Po) - \left(M(^{206}Pb) + M_{\alpha}\right)\right] \times 931.5MeV$$

$$= \left[209.98285 - (205.97440 + 4.002603\right] \times 931.5$$

$$= 5.45MeV \succ 0$$

إذن يمكن للبولونيوم 210 أن يتحلل بانبعاث جسيمات ألفا

❑ التحلل بانبعاث بيتا β- decay

هناك نوعين من هذا التحلل هما :

أ- بيتا السالب : $${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + \beta^{-} + \overline{\nu}$$

هذا التحول يحدث عندما تكون نسبة النيوترونات إلى البروتونات في النواة أكبر من قيمتها في منطقة الاستقرار،

فلكي يحدث استقرار يتحول النيوترون إلى بروتون وينطلق جسيم بيتا السالب من النواة:

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

طاقة تحلل بيتا السالب يعطى بالعلاقة:

$$Q = [M(x) - (M(y) + m_e)] \times 931.5 MeV$$

- نحصل على أعلى قيمة لطاقة تحلل جسيمات بيتا السالبة بأخذ الكتل الذرية بدل النووية:

$$Q = [M(x) - M(y)] \times 931.5 MeV$$

مثال : تحلل الكربون 14: $${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + \beta^{-} + \overline{\nu}$$

ب- بيتا الموجب : $${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \beta^{+} + \nu$$

فلكي يحدث استقرار يتحول البروتون إلى نيوترون وينطلق جسيم بيتا الموجب (البوزيترون) من النواة:

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

- طاقة تحلل بيتا الموجب يعطى بالعلاقة:

$$Q = [M(x) - (M(y) + m_e)] \times 931.5 MeV$$

- نحصل على أعلى قيمة لطاقة تحلل جسيمات بيتا الموجبة بأخذ الكتل الذرية بدل النووية:

$$Q = [M(x) - (M(y) + 2m_e)] \times 931.5 MeV$$

مثال : تحلل النيتروجين 13: $${}^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + \beta^{+} + \nu$$

- **هناك جسيمين يصاحبان تحلل بيتا السالب والموجب هما نيوترينو ν وضد نيوترينو $\bar{\nu}$ ، وهما بدون شحنة وبلا كتلة ولكن وجودهما ضروري لكي تبقى الطاقة والزخم الخطي والزاوية قبل وبعد التحلل محفوظة حسب مبدأ حفظ الطاقة والزخم.**

- **Problem**:
- Calculate the disintegration energy Q for the beta decay $^{32}P \rightarrow {}^{32}S + e^- + \nu$.
  Atomic masses: $m(^{32}P) = 31.97391$ u, $m(^{32}S) = 31.97207$ u
- Solution:
  $Q = m_i c^2 - m_f c^2$.
  $m_i = m_{nuc}(^{32}P) = m(^{32}P) - 15*m(e^-)$,
  $m_f = m_{nuc}(^{32}S) + m(e^-) = m(^{32}S) - 16*m(e^-) + m(e^-) = m(^{32}S) - 15*m(e^-)$
  The mass of the neutrino is negligibly small.
  $Q = m_i c^2 - m_f c^2 = (m(^{32}P) - m(^{32}S))c^2 = 1.71$ MeV.
  In β^- decay subtracting the atomic masses automatically takes into account the mass of the emitted electron. This is not true for β^+ decay.
- Calculate the disintegration energy Q for the beta decay $^{64}Cu \rightarrow {}^{64}Ni + e^+ + \nu$.
  Atomic masses: $m(^{64}Cu) = 63.929766$ u, $m(^{64}Ni) = 63.927968$ u
- Solution:
  $Q = m_i c^2 - m_f c^2$.
  $m_i = m_{nuc}(^{64}Cu) = m(^{64}Cu) - 29*m(e^-)$,
  $m_f = m_{nuc}(^{64}Ni) + m(e^+) = m(^{64}Ni) - 28*m(e^-) + m(e^+) = m(^{64}Ni) - 27m(e^-)$
  The mass of the neutrino is negligibly small and $m(e^+) = m(e^-)$.
  $Q = m_i c^2 - m_f c^2 = (m(^{64}Cu) - m(^{64}Ni))c^2 - 2*m(e^-)c^2 = 1.6748$ MeV $- 2*0.511$ MeV
  $= 0.653$ MeV.
  In β^+ decay subtracting the atomic masses does not automatically take into account the mass of the emitted positron.

❑التحلل بانبعاث جاما ϒ- decay

$$ {}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{0}\gamma $$

${}^{A}_{Z}X^{*}$: يعني أن النواة في حالة مثارة

- إشعاعات جاما مصدرها النواة المثارة بينما أشعة X تنبعث من الذرة المثارة.

➢ قانون التحلل الإشعاعي Radioactive decay law

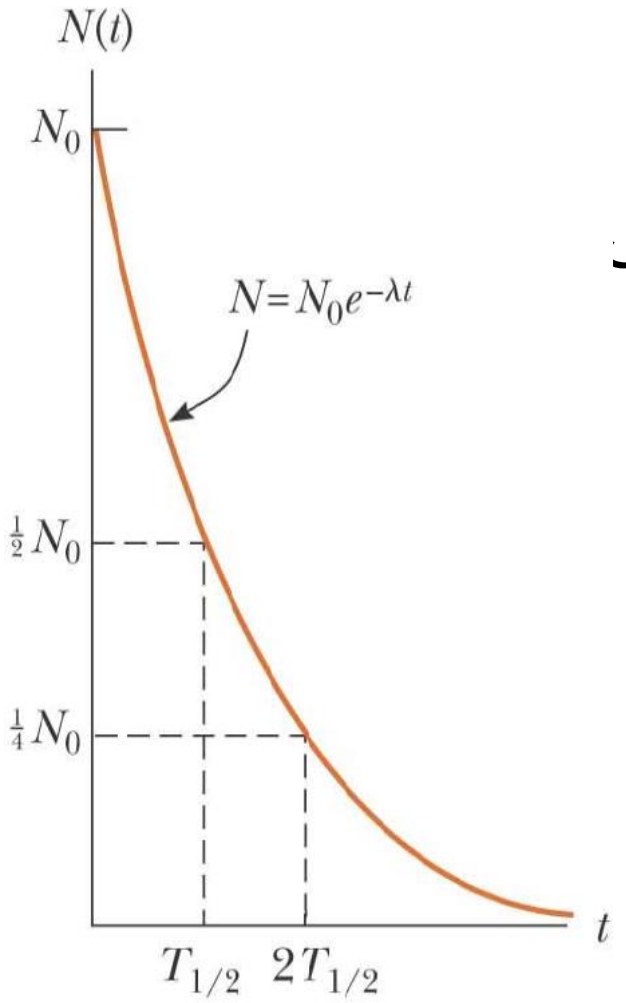
- شدة الإشعاعات المنبعثة من مادة مشعة لا تعتمد على الحرارة أو الضغط أو أي مؤثر خارجي ولكنها تعتمد فقط على عدد النوى غير المستقرة في العينة (N).
- عدد النوى المحتمل تحللها تلقائيا في وحدة الزمن أي معدل التحلل (ΔN/Δt) يزيد بزيادة عدد النوى غير المستقرة في العينة، وفق القانون:

$$\frac{N - N_0}{t - t_0} = \frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

حيث λ ثابت التحلل وقيمته موجبة.

- ويمكن كتابة قانون التحلل الإشعاعي عند أي لحظة زمنية t كما يلي:

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



➢ عمر النصف Half life

- وهو الزمن اللازم لكي تحلل نوى نظير معين إلى نصف عددها ويرمز له ب $T_{1/2}$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\therefore 2 = e^{\lambda T_{1/2}} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

- كل نظير مشع له λ خاص به وبالتالي عمر نصف محدد.
- أعمار النصف للنظائر المشعة تتراوح بين 10^{-20} sec إلى 10^{16} years.

➢ الشدة الإشعاعية (النشاط الإشعاعي) Radioactivity

- عدد النوى في العينة لا يمكن عدها مباشرة ولكن يمكن قياس معدل التحلل R(عدد التحللات في وحدة الزمن) والمسمى بالشدة الإشعاعية:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

$$\therefore R = \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\therefore R = R_0 e^{-\lambda t}, R_0 = \lambda N_0$$

- R_0 هو معدل التحلل العينة عند t=0، و R معدل التحلل عند الزمن t.

➢ الشدة الإشعاعية (النشاط الإشعاعي) Radioactivity

- تقاس الشدة الإشعاعية بوحدة الكيوري (Ci).
- ويعرف الكيوري بأنه الشدة الإشعاعية لكتلة جرام واحد من الراديوم 226 وهو يساوي:

$$1\ Ci = 3.7 \times 10^{10}\ decay/sec$$

- وفي وحدات النظام العالمي (SI) وحدة الشدة الإشعاعية هي البيكريل (Bq):

$$1\ Bq = 1\ decay/sec,$$
$$1\ Ci = 3.7 \times 10^{10}\ Bq$$

- مثال: عينة من الكوبالت 60 (^{60}Co)، الذي عمر النصف له 5.26 years ، بها $3x10^{16}$ نواة مشعة. ماهي شدتها الإشعاعية بوحدة الكيوري بعد مرور 15.78 سنة.

الحل:

$R=4.223 \times 10^{-4}$ Ci = 422.3 μCi

➢ التفاعلات النووية Nuclear reactions

$$^{4}_{2}He + ^{14}_{7}N \rightarrow \left[^{18}_{9}F\right] \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

عملية تحول العناصر

مستقر مشع مستقر

- ويمكن التعبير عن التفاعلات النووية بالمعادلة الآتية: x+ X→Y + y

الطاقة المحررة تساوي:

$$Q = [M(x) + M(X) - (M(Y) + M(y))] \times c^2 \; joule$$

حيث الكتل بوحدة الكيلو جرام(kg).

أو: $$Q = [M(x) + M(X) - (M(Y) + M(y))] \times 931.5 MeV$$

حيث الكتل بوحدات الكتل الذرية (u).

α+ N →F →O + P ⟹ Q = -1.19 MeV

ونظرا لأن قيمة الطاقة المحررة المحسوبة سالبة فإنه لحدوث التفاعل لابد ان يكون لجسيم ألفا طاقة حركية تتحول إلى كتلة ليصبح الطرف الأيسر مساويا أو أكبر من مجموع الكتل في الطرف الأيمن لكي يتم التفاعل.

- استخدمت المعجلات النووية لتسريع الجسيمات النووية وقذف النوى لإنتاج نظائر صناعية غيرموجودة بالطبيعة والتي قد تكون مستقرة أو مشعة

➢ **التحول النووي بواسطة النيوترونات Transmutation by neutrons**

إن امتصاص النيوترونات من بعض النوى لاتحتاج إلى طاقات عالية لأنها عديمة الشحنة لذا استعملت لقذف العناصر الثقيلة وبالتالي زيادة العدد الذري وانبعاث جسيمات بيتا السالبة:

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

١ – كم عدد البروتونات والنيترونات في نوى النظائر التالية :

$^{18}_{8}O$, $^{56}_{26}Fe$, $^{126}_{53}I$, $^{200}_{80}Hg$, $^{232}_{90}Th$

٢- احسب نصف القطر لكل من النوى التالية :

(أ) $^{4}_{2}He$ ، (ب) $^{27}_{13}Al$ ، (جـ) $^{64}_{29}Cu$ ، (د) $^{216}_{84}Po$.

٣- نصف القطر لنواة نظير هو $6x10^{-15}m$، ما هو العـــــدد الكتلي لهذه النواة.

٥- الوزن الذري لنظير النيكل $^{60}_{28}Ni$ هو 59.930789 u احسب :

أ- كتلة نواة هذا النظير .

ب- الطاقة الرابطة لكل نيوكليون .

$$m_e = 5.486 \times 10^{-4}\ u$$
$$M(n) = 1.008665\ u$$
$$M\left(^{1}_{1}H\right) = 1.007825\ u$$

٦- ما هو الجسيم النووي المجهول (x) في التفاعلات النووية التالية:

$$x + {}^{109}_{48}Cd \rightarrow {}^{109}_{47}Ag$$

$$\alpha + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{17}_{8}O + x$$

$$x + {}^{113}_{48}Cd \rightarrow {}^{114}_{48}Cd$$

٧- ما هي نواة النظير المجهول (x) في التفاعلات النووية التالية :

$$x \longrightarrow {}^{65}_{28}Ni + \gamma$$

$${}^{215}_{84}Po \rightarrow x + \alpha$$

$$\alpha + {}^{10}_{5}B \rightarrow x + p$$

٨- هل يمكن لنظير الرادون ٢٠٤ ($^{204}_{86}Rn$) أن يتحـــلل إلى البولونيوم ٢٠٠ ($^{200}_{84}Po$) بانبعاث جسيمات α . وإذا كان هذا ممكنا ما هي كمية الطاقة المتحررة.

$$M(^{204}_{86}Rn) = 203.992300\ u$$

$$M(^{200}_{84}Po) = 199.982820\ u$$

$$M(\alpha) = 4.002603\ u$$

٩- ما هي أعلى طاقة (β_{max}) لجسيمات بيتا السالبة المنبعثة من نظير الكربون ١٤ ($^{14}_{6}C$) .

$$M(^{14}_{6}C) = 14.003242\,u$$

$$M(^{14}_{7}N) = 14.003074\,u$$

١٠- ما هي أعلى طاقة (β_{max}) لجسيمات بيتا الموجبة المنبعثة من نظير البوتاسيوم ٣٧ ($^{37}_{19}K$) .

$$M(^{37}_{19}K) = 36.973365\,u$$

$$M(^{37}_{18}Ar) = 36.966772\,u$$

$$M(2e) = 1.0972 \times 10^{-3}\,u$$

١١- كم من الوقت تستغرقه عينـــــة من الصوديوم ٢٢ المشع (^{22}Na) الذي عمر النصف له 2.6 y لكي يتحلل 80% من نواها .

١٢- ما هي الشدة الإشعاعيـــــة لجرام واحد من نظير الراديوم ٢٢٦ ($^{226}_{88}Ra$) الذي عمر النصف له يساوي 1622 y .

١٣- عينة من نظير الذهب ٢٠٠المشع ، ($^{200}_{79}Au$) ، كتلتها $5.103x10^{-8}$ kg وشدتها الإشعاعية 1000 Ci ، ما هو عمر النصف لهذا النظير .