كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء اشعاعية

المحاضرة : الثالثة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

الفيزياء الاشعاعية

المحاضرة-3

التفككات الاشعاعية

النظائر المشعة

- تنقسم الى مجموعتين:

- نظائر مشعة طبيعية.
- نظائر مشعة يتم الحصول عليها اصطناعياً.

النظائر المشعة

- النظائر المشعة الطبيعية:
  - تنتمي الى أحد السلاسل الأربعة التي تبدأ كل واحدة منها بنواة أم عمرها كبير جداً.
  - هذه السلاسل الاشعاعية تعمل كمنابع لنوى بنت نشطة اشعاعياً.

Name of series	Parent	First decay	n_α	Found in nature today	Half-life (10^9 y)	Stable end-product
Thorium	$^{232}_{90}\mathrm{Th}$	$^{228}_{88}\mathrm{Ra}+\alpha$	6	YES	14.05	$^{208}_{82}\mathrm{Pb}$
Actinium	$^{235}_{92}\mathrm{U}$	$^{231}_{90}\mathrm{Th}+\alpha$	7	YES	0.704	$^{207}_{82}\mathrm{Pb}$
Neptunium	$^{237}_{93}\mathrm{Np}$	$^{233}_{91}\mathrm{Pa}+\alpha$	7	NO	2.144×10^{-3}	$^{209}_{83}\mathrm{Bi}$
Uranium	$^{238}_{92}\mathrm{U}$	$^{234}_{90}\mathrm{Th}+\alpha$	8	YES	4.47	$^{206}_{82}\mathrm{Pb}$

النظائر المشعة

- النظائر المشعة الاصطناعية:

- الأخوين كوري اكتشفوا النشاط الاصطناعي عام 1934 بعد سلسلة من التجارب قاموا فيها بضرب عينات من البورون بجسيمات ألفا فحصلوا على النتروجين غير المستقر الذي يتفكك بإصدار البوزيترون β^+.

أنواع التفككات الاشعاعية

- تسعى النوى النشطة اشعاعياً سواء كانت طبيعية أو اصطناعية المصدر للوصول الى الحالة المستقرة وذلك عن طريق التفككات الاشعاعية.
- تقوم هذه التفككات بتحويل النوى غير المستقرة الى نوى مستقرة وإصدار جسيمات طاقية.

أنواع التفككات الاشعاعية

- يوجد ست مجموعات رئيسية من التفككات وهي:
  تفكك ألفا- تفكك بيتا – تفكك غاما- الانشطار التلقائي- التفكك بإصدار البروتونات والتفكك بإصدار النترونات.
- في كل عملية تحول فأنه توجد مجموعة من المقادير الفيزيائية التي يجب أن تكون محفوظة، من أهمها:
  الطاقة الكلية- كمية الحركة- الشحنة- العدد الذري و العدد الكتلي.

أنواع التفككات الاشعاعية

- يترافق التفكك الاشعاعي بإصدار طاقة تُسمى طاقة التفكك Q:

$$Q = \{M_{\mathrm{P}} - (M_{\mathrm{D}} + m)\}\, c^2$$

حيث أنM_P هي الكتلة السكونية للأم و M_D الكتلة السكونية للبنت و m الكتلة السكونية للجسيم الصادر. ويتم التعبير عن هذه الكتل باستخدام واحدة الكتل الذرية $1uc^2 = 931.5\ MeV$.

- حتى يكون تفاعل التفكك الاشعاعي ممكناً فأن Q يجب أن تكون أكبر من الصفر، وهنا يحدث التفكك بشكل تلقائي. الطاقة الناتجة عن التفكك يتم مشاركتها بين النواة البنت والجسيمات الصادرة.

تفكك ألفا α

- تحاول النواة الأم غير المستقرة في هذا النوع من التفككات الوصول الى الحالة المستقرة بإصدار جسيم ألفا.
- جسيم ألفا هو نوى الهليوم التي تمتلك طاقة ارتباط $7\ MeV/nucleon$.

$$^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{P} \rightarrow {}^{\mathrm{A}-4}_{\mathrm{Z}-2}\mathrm{D} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}\,.$$

النواة الأم تفقد بروتونين ونترونين لتتحول الى نواة وليدة جديدة. جسيم ألفا يتباطىء ضمن الوسط الذي يحدث فيه التفاعل (الوسط الماص) ويلتقط الكترونين من الوسط المحيط به ليتحول الى ذرات الهليوم المعتدلة.

تفكك ألفا α

- الطاقة الحركية التي تمتلكها جسيمات ألفا المحررة من نوى نشطة طبيعية تتراوح بين $4\ MeV$ و $9\ MeV$ وهي تُقابل مدى في الهواء يتراوح بين $1\ cm$ و $10\ cm$ على الترتيب
- الحاجز الكولوني الذي تخضع له جسيمات ألفا على سطح النواة التي ستتحرر منها هو من مرتبة $30\ MeV$.
- وفقاً للفيزياء الكلاسيكية فأن جسيم بطاقة تتراوح بين $4\ MeV$ و $9\ MeV$ لا يمكن أن يجتاز هذا الحاجز.
- ولكن ظاهرة النفق في ميكانيك الكم بينت أن جسيم ألفا يمكن أن يمتلك احتمالية محددة يستطيع معها عبور الحاجز الكولوني متحرراً من النواة الأم.

تفكك ألفا α

$$ {}^{A}_{Z}\mathrm{P} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\mathrm{D} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}\,. $$

- طاقة التفكك:

الطاقة المتحررة عند حدوث تفكك ألفا هي طاقة تنقسم الى طاقة حركية بين جسيم ألفا والنواة الوليدة وهي تُعطى بالعلاقة التالية:

$$ Q_\alpha = \left\{ \mathcal{M}(\mathrm{P}) - [\mathcal{M}(\mathrm{D}) + \mathcal{M}({}^{4}_{2}\mathrm{He})] \right\} \qquad (1) $$

حيث أن هذه العلاقة تستخدم مفهوم الطاقة السكونية للذرة حيث $M(P)$ الكتلة السكونية لذرات الأم و $M(D)$ الكتلة السكونية لذرات البنت و $M(He_2^4)$ الكتلة السكونية لذرات الهليوم.

ملاحظة: يُعبر هنا عن الكتلة السكونية للذرات بواحدة الطاقة MeV

تفكك ألفا α

$$^{A}_{Z}P \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}D + ^{4}_{2}He\ .$$

- طاقة التفكك:

الطاقة المتحررة عند حدوث تفكك ألفا هي طاقة تنقسم الى طاقة حركية بين جسيم ألفا والنواة الوليدة وهي تُعطى بالعلاقة التالية:

$$Q_\alpha = \{M(P) - [M(D) + M(\alpha)]\}\, c^2 \qquad (2)$$

هذه العلاقة تستخدم مفهوم الطاقة السكونية للنواة حيث $M(P)$ كتلة النواة الأم و $M(D)$ كتلة النواة البنت و $M(\alpha)$ كتلة جسيم ألفا.

ملاحظة: يُعبر هنا عن الكتلة السكونية للنوى بواحدة الكتلة الذرية u

$$1\ uc^2 = 931.5\ MeV$$

تفكك ألفا α

$$^{A}_{Z}P \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}D + ^{4}_{2}He\ .$$

- طاقة التفكك:

بما أن العدد الكلي للبروتونات والنترونات لا يتغير في تفكك ألفا فأنه يمكن التعبير عن طاقة التفكك باستخدام مفهوم طاقة الارتباط E_B للنوى الأم والبنت والهليوم كمايلي:

$$Q_\alpha = E_B(D) + E_B(\alpha) - E_B(P) \qquad (3)$$

حيث $E_B(D)$ طاقة الارتباط الكلية للنوى البنت،
$E_B(\alpha)$ طاقة الارتباط الكلية لنواة الهليوم (28.3 MeV)،
$E_B(P)$ طاقة الارتباط الكلية للنوى الأم.

Q_α يجب أن تكون موجبة وهذا يفرض أن يكون مجموع طاقة ارتباط النواة البنت و نواة الهليوم أكبر من طاقة ارتباط النواة الأم.

تفكك ألفا α

$$ {}^{A}_{Z}P \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}D + {}^{4}_{2}He\ . $$

- طاقة التفكك:

يُمكن كتابة طاقة التفكك كمايلي:

$$ Q_\alpha = (E_K)_\alpha + (E_K)_D = \frac{p^2}{2m_\alpha} + \frac{p^2}{2M(D)} = \frac{p^2}{2m_\alpha}\left\{1 + \frac{m_\alpha}{M(D)}\right\} $$

$$ = (E_K)_\alpha \left\{1 + \frac{m_\alpha}{M(D)}\right\} $$

تفكك ألفا α

$$ {}^{A}_{Z}P \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}D + {}^{4}_{2}He\ . $$

- طاقة التفكك:

بما أن $M(D) \gg m_\alpha$ فأن نواة الهليوم ترتد بطاقة حركية أكبر بكثير من الطاقة الحركية للنواة البنت.

$$ \boldsymbol{(E_K)_\alpha = \frac{Q_\alpha}{1 + \frac{m_\alpha}{M(D)}}} $$

بالتعويض عن Q_α من العلاقة (2) نجد:

$$ (E_K)_\alpha = \frac{M(P)c^2 - M(D)c^2 - m_\alpha c^2}{1 + \frac{m_\alpha}{M_D}} $$

$$ \approx \{M(P)c^2 - M(D)c^2 - m_\alpha c^2\}\left\{\frac{A_P - 4}{A_P}\right\} = Q_\alpha \left\{\frac{A_P - 4}{A_P}\right\} $$

حيث $A_P - 4$ هو الكتلة الذرية للنواة البنت و A_P الكتلة الذرية للنواة الأم و

$$ \frac{m_\alpha}{M_D} \approx \frac{4}{(A_P - 4)} . $$

تفكك ألفا α

$$ {}^{A}_{Z}\mathrm{P} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\mathrm{D} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}\,. $$

- طاقة التفكك:

$$ (E_{\mathrm{K}})_{\alpha} = \frac{M(\mathrm{P})c^2 - M(\mathrm{D})c^2 - m_{\alpha}c^2}{1 + \frac{m_{\alpha}}{M_{\mathrm{D}}}} $$

$$ \approx \{M(\mathrm{P})c^2 - M(\mathrm{D})c^2 - m_{\alpha}c^2\} \left\{\frac{A_{\mathrm{P}} - 4}{A_{\mathrm{P}}}\right\} = Q_{\alpha} \left\{\frac{A_{\mathrm{P}} - 4}{A_{\mathrm{P}}}\right\} $$

والطاقة الحركية للنواة البنت تُعطى بالعلاقة التالية:

$$ (E_{\mathrm{K}})_{\mathrm{D}} = Q_{\alpha} - (E_{\mathrm{K}})_{\alpha} = \frac{4Q_{\alpha}}{A_{\mathrm{P}}}\,. $$

تفكك ألفا α

$$ {}^{226}_{88}\mathrm{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\mathrm{Rn} + \alpha. $$

- تمرين:

الرادون هو غاز خامل نبيل يختلط بالهواء وله 36 نظيراً معروفاً، جميعها مشعة. يتواجد طبيعياً كنتيجة لاضمحلال اليورانيوم أو الثوريوم، والنظير الأكثر شيوعاً للرادون هو الرادون-222، وهو نتاج اضمحلال الراديوم-226. بنات الرادون هي مواد صلبة تلتصق بجزيئات الغبار في الهواء وتشكل خطراً إشعاعياً على البشر عند استنشاقها، مما يتسبب في تلف الأنسجة القصبية والرئوية وقد يؤدي إلى سرطان الرئة.

1. حدد طاقة التفكك Q_{α} لتفكك الرادون-222 الى البولونيوم-218. استخدم وقارن بين ثلاث طرق لحساب Q_{α}:
   a. طريقة الطاقة السكونية للذرة.
   b. طريقة الطاقة السكونية للنواة.
   c. طريقة طاقة الارتباط.
2. احسب الطاقة الحركية لجسيم ألفا الناتج عن تفكك الرادون-222.
3. احسب طاقة الارتداد للنواة البنت البولونيوم-218.

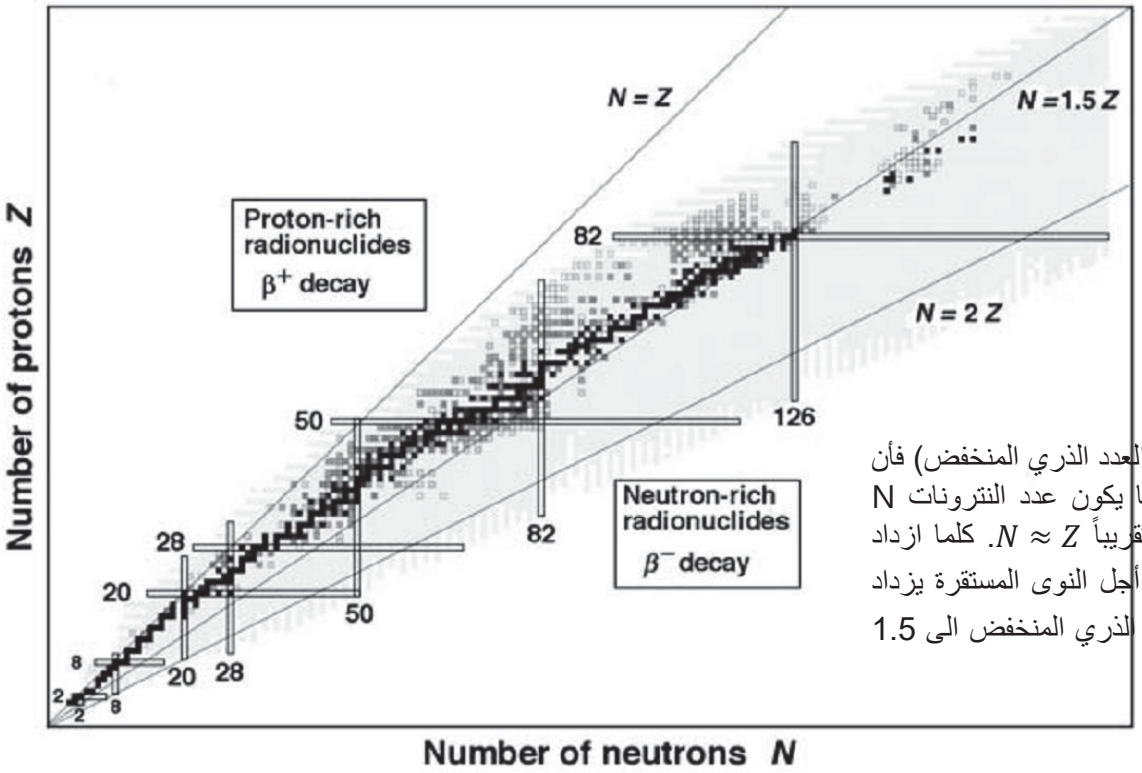
تفكك ألفا α

- تمرين:

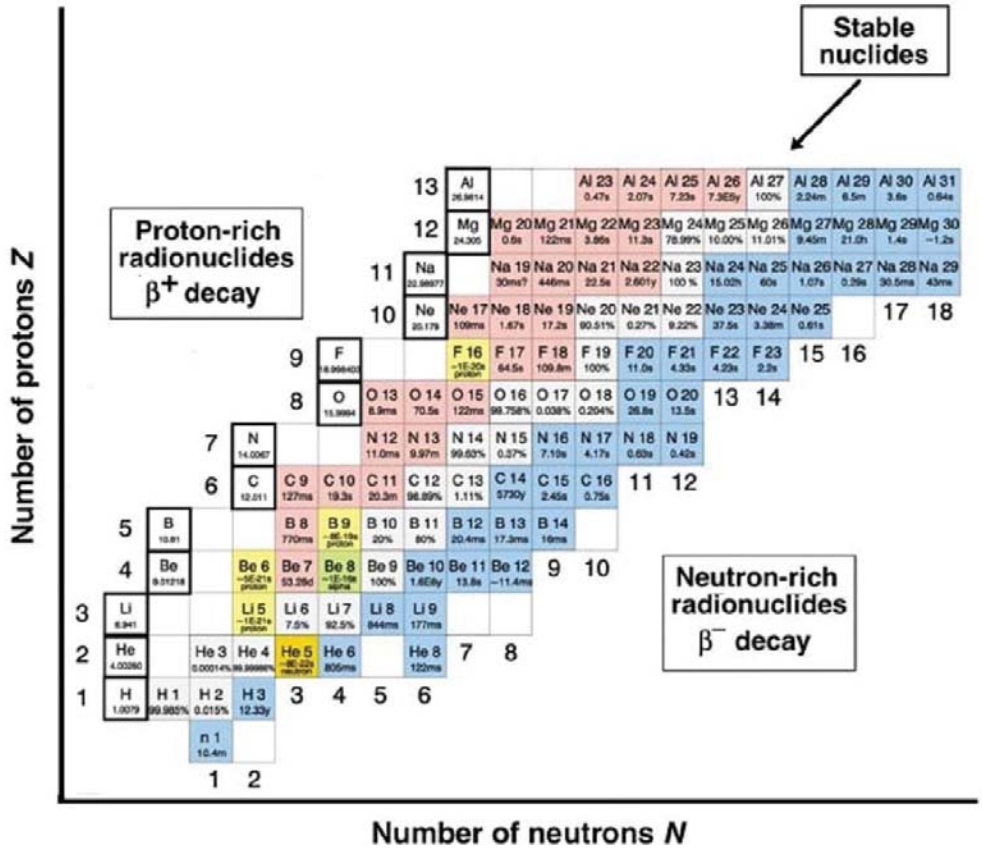
	$^{222}_{86}Rn$	$^{218}_{84}PO$	$^{4}_{2}He$	m_α
الكتلة الذرية	222.017541 u	218.008973 u .	4.002603 u	
الطاقة السكونية للنواة	206764.1025 MeV	203031.1324 MeV		3727.3791 MeV
طاقة الارتباط	1685.47305 MeV	1708.1777 MeV	28.29569 MeV	

تفكك بيتا

- في هذا النوع من التفككات يتغير العدد الذري فقط بينما يبقى العدد الكتلي الذري ثابت.
- عدد النيكليونات والشحنة الكلية تكون محفوظة في عملية تفكك β والنواة البنت تُشكل نواة نظيرة ايزوبارية للنواة الأم.
- نُميز نوعين لتفككات بيتا وهي تفكك بيتا السالب β^- وتفكك بيتا الموجب β^+ اضافةً الى عملية الأسر الالكتروني.



في نوى العناصر الخفيفية (ذات العدد الذري المنخفض) فأن استقرار هذه النوى يحدث عندما يكون عدد النترونات N وعدد البروتونات Z متساويين تقريباً $N \approx Z$. كلما ازداد العدد الذري فأن النسبة $\frac{N}{Z}$ من أجل النوى المستقرة يزداد من 1 في حالة النوى ذات العدد الذري المنخفض الى 1.5 في النوى الثقيلة.



تفكك بيتا

- تفكك بيتا السالب: يزداد عدد البروتونات بمقدار واحد ($Z \to Z+1$) و يبقى A ثابت.

$$n \to p + e^- + \bar{\nu}_e \qquad {}^{A}_{Z}P \to {}^{A}_{Z+1}D + e^- + \bar{\nu}_e$$

- يحدث هذا التفكك في النوى الغنية بالنترونات بأن يتحول نترون الى بروتون و يتم قذف الكترون ومضاد النترينو. تتفكك النترونات الحرة الى بروتونات خلال عملية β^- بعمر وسطي قدره $\tau = 10.24\ min$. وهذا التفكك ممكن حيث أن الكتلة السكونية للنترونات هي أكبر من الكتلة السكونية للبروتونات.

تفكك بيتا

- تفكك بيتا الموجب: ينقص عدد البروتونات بمقدار واحد ($Z \to Z-1$) و يبقى A ثابت.

$$p \to n + e^+ + \nu_e \qquad {}^{A}_{Z}P \to {}^{A}_{Z-1}D + e^+ + \nu_e\,.$$

- يحدث هذا التفكك في النوى الغنية بالبروتونات بأن يتحول بروتون الى نترون و يتم قذف بوزيترون و النترينو. البروتونات الحرة لا تستطيع التفكك الى نترونات من خلال عملية β^+ لأن الكتلة السكونية للبروتونات أصغر من الكتلة السكونية للنترونات.

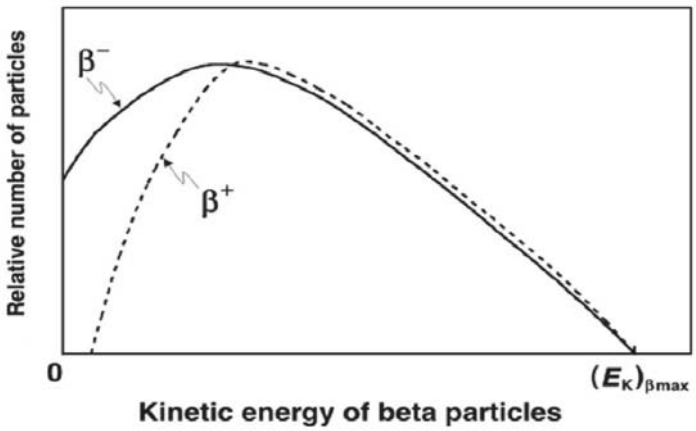
تفكك بيتا

- الأسر الالكتروني: في النوى الغنية بالبروتونات فأن أحد البروتونات يمكن أن يأسر الكترون من المدارات الداخلية (مدار *K*) فيتحول البروتون الى نترون ويتم قذف النترينو.

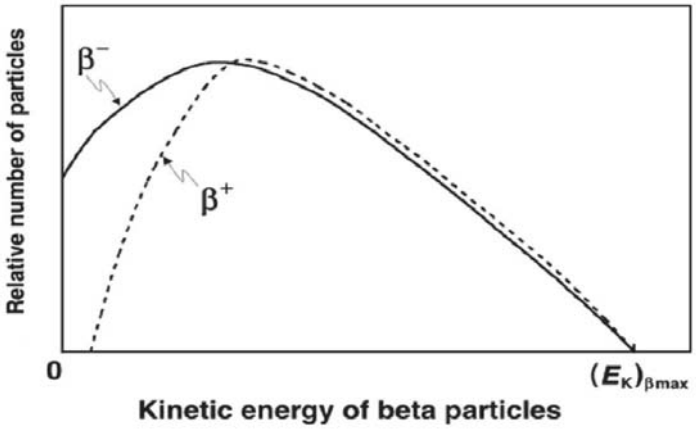
$$p + e^- = n + \nu_e \qquad {}^{A}_{Z}P + e^- = {}^{A}_{Z+1}D + \nu_e .$$

طيف تفكك بيتا

- وبشكل مناقض لتفكك ألفا حيث تكون طاقة جسيم ألفا قيمة وحيدة فأن جسيم بيتا الناتج عن تفكك بيتا لا يمتلك طاقة وحيدة انما هو يخضع لتوزع للطاقة الحركية مستمر يمر بقيمة عظمى وحيدة مناسبة لطاقة تفكك بيتا.

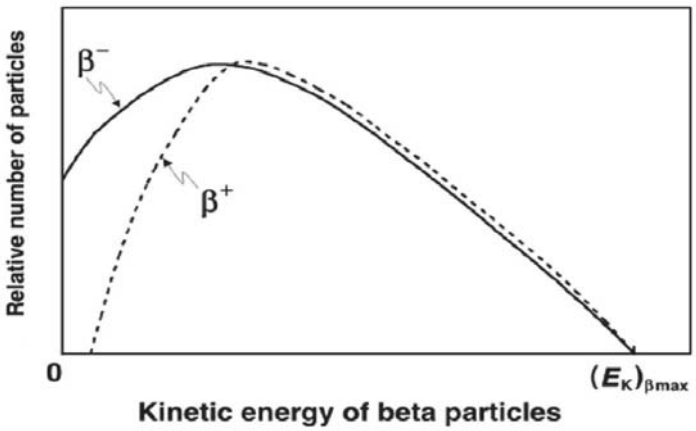


طيف تفكك بيتا



- افترض العالم باولي عام 1930 وجود النترينو.
- برهن العالم فيرمي 1934 هذه الفكرة و طبقها على تفكك بيتا الموجب والسالب حيث جزم أنه يتوجب وجود جسيم ثالث (النترينو ومضاد النترينو) حتى يتحقق انحفاظ الطاقة وكمية الحركة في تفككات بيتا.

طيف تفكك بيتا



- من أجل استخدام النظائر المشعة لأشعة بيتا في المعالجة الداخلية فأن حساب الجرعة يتطلب الطاقة الفعالة $(E_\beta)_{eff}$ حيث يتم حسابها من الطيف الطاقي:

$$(E_\beta)_{eff} = \frac{1}{3}(E_\beta)_{max}$$

شرط حدوث تفكك بيتا السالب

- يتم استخدام العديد من النظائر المشعة التي تتحلل من خلال اضمحلال بيتا السالب في الطب للعلاج بالأشعة الخارجية وللعلاج بالإشعاع الموضعي.
- يتحلل النظير الأم من خلال اضمحلال بيتا إلى نظير ابنة مثار يتفكك فوراً أو عبر عملية اضمحلال شبه مستقرة إلى حالته الأرضية ويُطلق طاقة الإثارة على شكل فوتونات أشعة غاما. تُستخدم هذه الفوتونات في العلاج الإشعاعي.

شرط حدوث تفكك بيتا السالب

- أهم خصائص النظائر المشعة لبيتا السالب المستخدمة في العلاج الإشعاعي الخارجي هي:
  - طاقة أشعة غاما عالية
  - نشاط نوعي عالي
  - نصف عمر طويل نسبياً
  - ثابت كبير لمعدل الكيرما النوعي في الهواء

شرط حدوث تفكك بيتا السالب

- من بين أكثر من 3000 نظير مشع طبيعي أو صناعي معروف، فإن عدداً قليلاً فقط منها مناسب للاستخدام في العلاج الإشعاعي.
- ومن بين هؤلاء، يُعتبر الكوبالت-60، مع طاقته العالية للفوتونات (1.17 MeVو 1.33 MeV)، ونشاطه العملي النوعي العالي، وعمره النصفي الطويل نسبيًا (5.27 سنوات)، هو المناسب بشكل أساسي لتلبية متطلبات المنبع للعلاج الإشعاعي الخارجي.

شرط حدوث تفكك بيتا السالب

- تحدث تفككات بيتا β^-عندما تكون كتلة النوى الأم غير المستقرة الغنية بالنترونات $M(Z,A)$ أكبر من كتلى النواة البنت $M(Z+1,A)$بمقدار أكبر من الكتلة السكونية لالكترون واحد m_e أو أكثر.
- وطاقة التفكك $Q_{\beta-}$ في عملية بيتا السالب تُعطى بالعلاقة:

$$^{A}_{Z}\mathrm{P} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}\mathrm{D} + \mathrm{e}^- + \bar{\nu}_\mathrm{e}$$

$$Q_{\beta-} = \{M(Z,A) - [M(Z+1,A) + m_e]\}c^2$$

وهذه العلاقة تستخدم مفهوم كتلة النواة السكونية.

شرط حدوث تفكك بيتا السالب

$$^{A}_{Z}P \rightarrow {}^{A}_{Z+1}D + e^{-} + \bar{\nu}_e$$

$$Q_{\beta^-} = \{M(Z,A) - [M(Z+1,A) + m_e]\}c^2$$

وهذه العلاقة تستخدم مفهوم كتلة النواة السكونية.

بإضافة وطرح Zm_e الى الطرف الثاني من العلاقة السابقة نحصل على:

$$Q_{\beta^-} = \{M(Z,A) + Zm_e - [M(Z+1,A) + m_e + Zm_e]\}c^2$$
$$= \{\mathcal{M}(Z,A) - \mathcal{M}(Z+1,A)\}c^2$$

حيث تستخدم هذه العلاقة الكتلة الذرية للنواة الأم والنواة البنت.

شرط حدوث تفكك بيتا السالب

$$^{A}_{Z}P \rightarrow {}^{A}_{Z+1}D + e^{-} + \bar{\nu}_e$$

$$Q_{\beta^-} = \{M(Z,A) + Zm_e - [M(Z+1,A) + m_e + Zm_e]\}c^2$$
$$= \{\mathcal{M}(Z,A) - \mathcal{M}(Z+1,A)\}c^2$$

حيث تستخدم هذه العلاقة الكتلة الذرية للنواة الأم والنواة البنت.

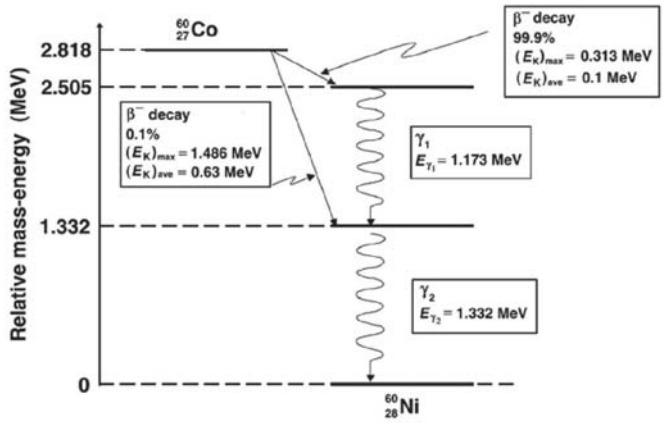
$$\mathcal{M}(Z,A) = M(Z,A) + Zm_e$$

$$\mathcal{M}(Z+1,A) = M(Z+1,A) + (Z+1)m_e$$

شرط حدوث تفكك بيتا السالب

$$ {}^{A}_{Z}\mathrm{P} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}\mathrm{D} + \mathrm{e}^{-} + \bar{\nu}_{\mathrm{e}} $$

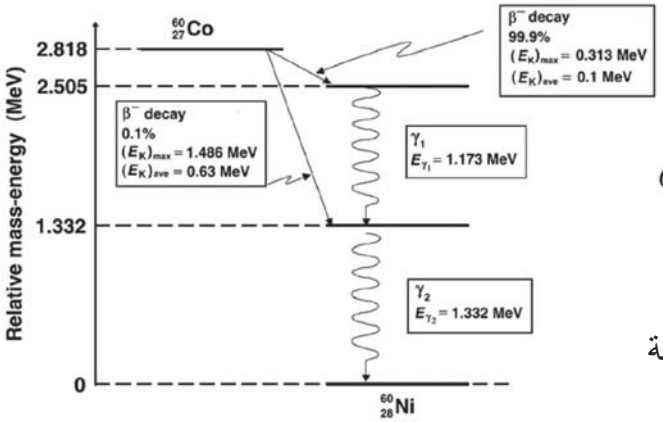
مثال: تفكك الكوبالت-60 هو مستخدم جداً في العلاج الاشعاعي الخارجي حيث أنه يتفكك وفق عملية β^- و يتحول الى النيكل-60 المثار الذي بدوره ينتقل الى الحالة المستقرة بإصدار أشعة غاما بطاقتين $1.173\ MeV$ و $1.332\ MeV$ كما هو موضح في الشكل التالي:



شرط حدوث تفكك بيتا السالب

$$ {}^{A}_{Z}\mathrm{P} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}\mathrm{D} + \mathrm{e}^{-} + \bar{\nu}_{\mathrm{e}} $$

مثال: تفكك الكوبالت-60 هو مستخدم جداً في العلاج الاشعاعي الخارجي حيث أنه يتفكك وفق عملية β^- و يتحول الى النيكل-60 المثار الذي بدوره ينتقل الى الحالة المستقرة بإصدار أشعة غاما بطاقتين $1.173\ MeV$ و $1.332\ MeV$ كما هو موضح في الشكل التالي:



- طاقة تفكك $Q_{\beta-}$ التي تنتج عن تحول الكوبالت-60 الى النيكل -60 يمكن حسابها كمايلي:

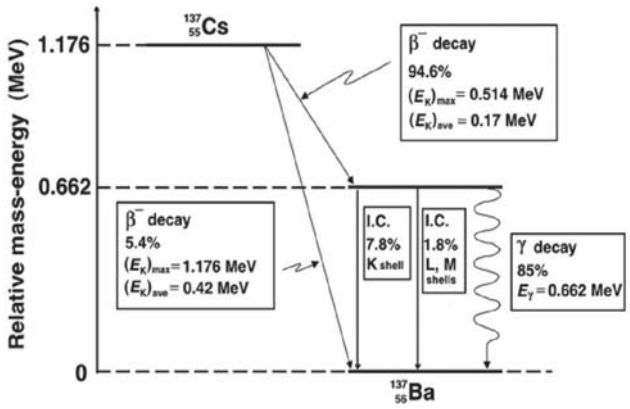
$$ Q_{\beta-} = \left\{ \mathcal{M}\left(^{60}_{22}\mathrm{Co}\right) - \mathcal{M}\left(^{60}_{28}\mathrm{Ni}\right) \right\} c^2 $$
$$ = \left\{ 59.933822u - 59.930791u \right\} 931.5\ \mathrm{MeV}/u = 2.82\ \mathrm{MeV} $$

طاقة التفكك 2.82 MeV تُمثل الفرق الطاقي بين سوية الكوبالت-60 والسوية الطاقية المستقرة للنيكل-60.

شرط حدوث تفكك بيتا السالب

تمرين: احسب طاقة تفكك $Q_{\beta-}$ السيزيوم-137 الى الباريوم-137:

$$^{137}_{55}\mathrm{Cs} \rightarrow {}^{137}_{56}\mathrm{Ba} + \mathrm{e}^{-} + \bar{\nu}_{\mathrm{e}} + Q_{\beta-}$$



علماً أن الكتلة الذرية للسيزيوم-137 يساوي 136.90708 u والكتلة الذرية للباريوم يساوي 136.90582 u.

شرط حدوث تفكك بيتا الموجب

- يتميز تفكك β^{+} بإصدار جسيمات تُسمى بالبوزيترونات التي تظهر في توزيع طيفي مع طاقة بوزيترون عظمى خاصة باضمحلال بيتا الموجب.
- غالباً ما تُسمى النظائر المشعة التي تخضع لاضمحلال بيتا β^{+} بمنابع البوزيترونات وتُستخدم للتصوير الوظيفي باستخدام تقنية تصوير خاصة تسمى التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET).

شرط حدوث تفكك بيتا الموجب

- يحدث تفكك β^+ عندما تكون كتلة النواة الأم الغنية بالبروتونات M(Z, A) أكبر من كتلة النواة البنت M(Z-1, A) بمقدار كتلة بوزيترون أو أكثر.
- تُعطى طاقة تفكك β^+ بالعلاقة التالية:

$$Q_{\beta^+} = \{M(Z,A) - [M(Z-1,A) + m_e]\}c^2$$

وهذه العلاقة تستخدم كتلة النواة السكونية.

و بإضافة و طرح Zm_e الى الطرف الثاني من العلاقة السابقة نجد:

$$Q_{\beta^+} = \{M(Z,A) + Zm_e - [M(Z-1,A) + m_e + Zm_e]\}c^2$$

$$= \{\mathcal{M}(Z,A) - [\mathcal{M}(Z-1,A) + 2m_e]\}c^2$$

شرط حدوث تفكك بيتا الموجب

$$Q_{\beta^+} = \{M(Z,A) + Zm_e - [M(Z-1,A) + m_e + Zm_e]\}c^2$$

$$= \{\mathcal{M}(Z,A) - [\mathcal{M}(Z-1,A) + 2m_e]\}c^2$$

$$\mathcal{M}(Z,A) = M(Z,A) + Zm_e$$

$$\mathcal{M}(Z-1,A) = M(Z-1,A) + (Z-1)m_e$$

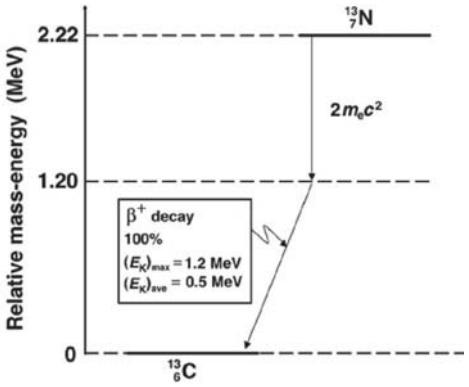
من أجل أن يحدث تفكك β^+ فأنه يجب أن تكون الكتلة الذرية للأم أكبر من الكتلة الذرية للبنت بمقدار أكبر من الكتلة السكونية لالكترونين:

$$\mathcal{M}(Z,A)c^2 > \mathcal{M}(Z-1,A)c^2 + 2m_e c^2$$

حيث $m_e c^2$ هي الكتلة السكونية للالكترون 0.511 MeV.

شرط حدوث تفكك بيتا الموجب

مثال: من أمثلة تفكك β^+ هو تفكك النتروجين-13 الى الكربون-13 بعمر نصف 10 min.



$$^{13}_{7}\mathrm{N} \rightarrow {}^{13}_{6}\mathrm{C} + \mathrm{e}^{+} + \nu_{\mathrm{e}} + Q_{\beta+}(1.2\ \mathrm{MeV})$$

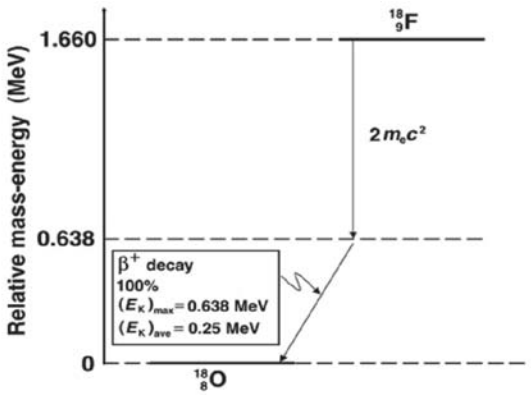
نحسب طاقة تفكك $Q_{\beta+}$:

$$\begin{aligned} Q_{\beta+} &= \left\{ \mathcal{M}(^{13}_{7}\mathrm{N}) - [\mathcal{M}(^{13}_{6}\mathrm{C}) + 2m_{\mathrm{e}}] \right\} c^2 \\ &= (13.005739u - 13.003355u)c^2 - 2m_{\mathrm{e}}c^2 \\ &= 0.002383u \times 931.5\ \mathrm{MeV}/u = 2.220\ \mathrm{MeV} - 1.022\ \mathrm{MeV} \\ &= 1.2\ \mathrm{MeV}. \end{aligned}$$

نلاحظ أن الفرق الطاقي بين السوية الطاقية للنيتروجين والسوية الطاقية الأرضية للكربون هو 2.220 MeV و لكن فقط 1.2 MeV هي الطاقة التي تتحرر بها البوزيترونات.

شرط حدوث تفكك بيتا الموجب

تمرين: احسب طاقة تفكك β^+ لتفكك الفلور-18 الى الأوكسجين-18 .
حيث أن هذا التفكك بعمر نصف *110 min* من أهم التفككات للحصول على منبع للبوزيترونات التي يتم استخدامها في تقنية التصوير المقطعي البوزيتروني *PET*.



$$^{18}_{9}\mathrm{F} \rightarrow {}^{18}_{8}\mathrm{O} + \mathrm{e}^{+} + \nu_{\mathrm{e}} + Q_{\beta+}$$

$\mathcal{M}(^{18}_{9}\mathrm{F})$	$\mathcal{M}(^{18}_{8}\mathrm{O})$
18.000937 u	17.999160 u

شرط حدوث الأسر الالكتروني

- يحدث الأسر الالكتروني عندما يكون الالكترون قريباً من حجم النواة فيحدث جذب له من قبل أحد بروتونات النواة ويتحول البروتون الى نترون.
- هذا الأسر يكون أكثر احتمالاً مع الكترونات المدار *K* الأقرب الى حجم النواة.
- هو يحدث في النوى الغنية بالبروتونات وغير المستقرة عندما تكون كتلة النواة الأم *M(Z, A)* مجتمعةً مع كتلة الكترون أكبر من كتلة النواة البنت *M(Z-1, A)*.
- طاقة التفكك Q_{EC} في حال الأسر الالكتروني تُعطى بالعلاقة:

$$Q_{EC} = \{[M(Z,A) + m_e] - M(Z-1,A)\}c^2$$

$$Q_{EC} = \{M(Z,A) - [M(Z-1,A) - m_e]\}c^2$$

هذه العلاقة تستخدم كتلة النواة الأم وكتلة النواة البنت.

شرط حدوث الأسر الالكتروني

- طاقة التفكك Q_{EC} في حال الأسر الالكتروني تُعطى بالعلاقة:

$$Q_{EC} = \{[M(Z,A) + m_e] - M(Z-1,A)\}c^2$$

$$Q_{EC} = \{M(Z,A) - [M(Z-1,A) - m_e]\}c^2$$

هذه العلاقة تستخدم كتلة النواة الأم وكتلة النواة البنت.

بإضافة وطرح Zm_e الى الطرف الثاني من العلاقة السابقة نجد:

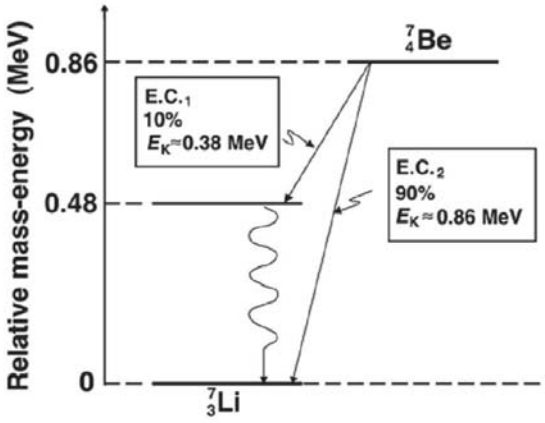
$$Q_{\mathrm{EC}} = \{\mathcal{M}(Z,A) - \mathcal{M}(Z-1,A)\}c^2$$

حيث أن هذه العلاقة تستخدم الكتل الذرية للأم وللبنت.

لكي يحدث الأسر الالكتروني فأن الكتلة الذرية للأم يجب أن تكون أكبر من الكتلة الذرية للبنت.

شرط حدوث الأسر الالكتروني

مثال: من الأمثلة على التفكك بعملية الأسر الالكتروني هو تفكك البيريليوم-7 الى الليثيوم-7، حيث أن البيريليوم-7 غني بالبروتونات ولتحقيق الاستقرار فأنه يتفكك عن طريق تحول أحد البروتونات الى نترون. وهذا يمكن فقط عن طريق الأسر الالكتروني وليس عن طريق تفكك β^- وذلك لأن الكتلة الذرية للبيريليوم-7 هي أكبر من الكتلة الذرية للبنت الليثيوم-7 بمقدار *0.86 MeV* وليس $2m_e = 1.022\ MeV$ الذي هو شرط تفكك β^-.



طاقة التفكك Q_{EC} تُحسب من العلاقة:

$$Q_{\mathrm{EC}} = \left\{ \mathcal{M}\left({}^{7}_{4}\mathrm{Be}\right) - \mathcal{M}\left({}^{7}_{3}\mathrm{Li}\right) \right\} c^2 = (7.0169292u - 7.016004u)\mathrm{c}^2$$
$$= 0.0009252u \times 931.5\ \mathrm{MeV}/u = 0.862\ \mathrm{MeV}.$$

شرط حدوث الأسر الالكتروني

مثال: من الأمثلة على التفكك بعملية الأسر الالكتروني هو تفكك البيريليوم-7 الى الليثيوم-7، حيث أن البيريليوم-7 غني بالبروتونات ولتحقيق الاستقرار فأنه يتفكك عن طريق تحول أحد البروتونات الى نترون. وهذا يمكن فقط عن طريق الأسر الالكتروني وليس عن طريق تفكك β^- وذلك لأن الكتلة الذرية للبيريليوم-7 هي أكبر من الكتلة الذرية للبنت الليثيوم-7 بمقدار *0.86 MeV* وليس $2m_e = 1.022\ MeV$ الذي هو شرط تفكك β^-.

علماً أن الكتل الذرية هي:

$^{192}_{77}Ir$	$^{192}_{78}Pt$	$^{192}_{76}Os$
191.96260 u	191.96104 u	**191.96148 u**

مكتبة A to Z