



كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء اشعاعية

المحاضرة : الرابعة / نظري

{{ مكتبة A to Z }}

مكتبة A to Z : Facebook Group

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

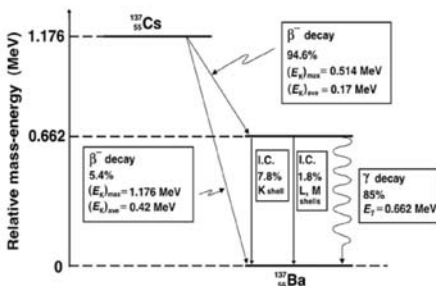
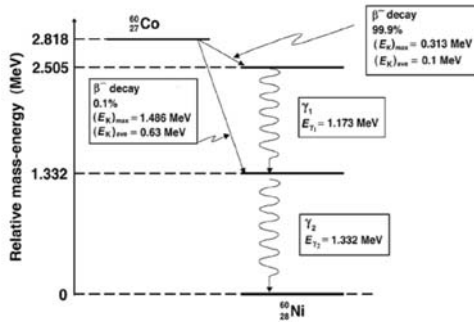
يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

الفيزياء الإشعاعية



المحاضرة-4

التفككات الإشعاعية (الجزء الثاني)



تفكك غاما

- في معظم تفككات ألفا وبيتا فإن النواة البنت غير المستقرة يمكن أن تصل إلى الحالة المستقرة بإصدار أشعة غاما مثل:
- تفكك الكوبالت-60 الذي يتحول إلى النيكل-60 شبه المستقر بإصدار أشعة بيتا السالبة ومن ثم النيكل ينتقل إلى الحالة المستقرة بإصدار أشعة غاما.
- تفكك السيزيوم-137 الذي يتحول إلى الباريوم-137 شبه المستقر بإصدار أشعة بيتا السالبة ومن ثم يتحول الباريوم-137 إلى الحالة المستقرة بإصدار أشعة غاما.

تفكك غاما

- في بعض تفككات ألفا وبيتا فإن النواة البنت المثارة لا تتخلص من اثارها مباشرةً للانتقال الى الحالة المستقرة انما تمر بحالة شبه مستقرة.
- و عملية التخلص من الاثارة تُسمى بالانتقال الايزوميري.
- و تتصف الحالة شبه المستقرة بعمر النصف والعمر الوسطي الخاصين بها.
- نُرْمَز للنوى شبه المستقرة بالحرف m مثل $^{137}_{56}Ba$ بعمر نصف 2.55 min .
- ويُستخدم مصطلح ايزومير لتمييز النوى التي تمتلك نفس العدد الذري والعدد الكتلي ولكنها تختلف في الحالة الطاقية.

تفكك غاما

- بالإضافة إلى تفككات ألفا وبيتا، هناك العديد من الطرق الأخرى لإنتاج نوى في حالات إثارة تخضع لاحقاً لتفكك غاما. على سبيل المثال:
- يمكن إنتاج حالات إثارة بطاقة تصل إلى 8 ميجا إلكترون فولت من خلال تفاعلات التقاط النيوترونات (n, γ) وكذلك من خلال تفاعلات نووية أخرى، مثل (p, γ) و (α, γ)، إلخ.

تفكك غاما

• طاقة تفكك غاما

• طاقة تفكك غاما Q_γ هو مجموع طاقة غاما E_γ و الطاقة الحركية لارتداد النواة البنت $(E_k)_D$:

$$Q_\gamma = E_\gamma + (E_k)_D$$

• في جملة احداثيات المخبر فإن كمية الحركة للنواة الوليدة $P_D = M_D v_D$ تتساوى مع كمية الحركة لأشعة غاما $P_\gamma = \frac{E_\gamma}{c}$:

$$P_D = P_\gamma$$

• وتكون الطاقة الحركية للنواة الوليدة:

$$(E_k)_D = \frac{1}{2} M_D v_D^2 = \frac{1}{2} \frac{M_D^2 v_D^2}{M_D} = \frac{1}{2} \frac{P_\gamma^2}{M_D}$$

$$(E_k)_D = \frac{1}{2} \frac{E_\gamma^2}{M_D c^2}$$

تفكك غاما

• طاقة تفكك غاما

• وتكون الطاقة الحركية للنواة الوليدة:

$$(E_k)_D = \frac{1}{2} M_D v_D^2 = \frac{1}{2} \frac{M_D^2 v_D^2}{M_D} = \frac{1}{2} \frac{P_\gamma^2}{M_D}$$

$$(E_k)_D = \frac{1}{2} \frac{E_\gamma^2}{M_D c^2}$$

حيث M_D الكتلة السكونية للنواة البنت و v_D السرعة المتجهة لها. و نلاحظ من هذه العلاقة أن الطاقة الحركية للنواة البنت أصغر بكثير من الطاقة الحركية لفوتونات غاما.

• وبالتالي فإن طاقة تفكك غاما يمكن كتابتها بالشكل:

$$Q_\gamma = E_\gamma + (E_k)_D$$

تفكك غاما

• طاقة تفكك غاما

• وبالتالي فإن طاقة تفكك غاما يمكن كتابتها بالشكل:

$$Q_{\gamma} = E_{\gamma} + (E_k)_D$$

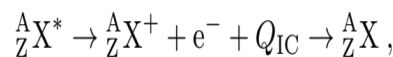
$$Q_{\gamma} = E_{\gamma} + \frac{1}{2} \frac{E_{\gamma}^2}{M_D c^2}$$

$$Q_{\gamma} = E_{\gamma} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{E_{\gamma}}{M_D c^2} \right)$$

التحول الداخلي

• بعض النوى تتخلص من اثارها بأن تُعطي طاقتها الى أحد الالكترونات المدارية لنفس الذرة الذي يغادرها ويتركها في حالة تأيين X^+ .

• ويمكن كتابة هذا التفكك على الشكل:



حيث X^* تمثل النواة في الحالة المثارة و X^+ تمثل الذرة في حالة التأيين و Q_{IC} طاقة التحول الداخلي.

• معظم الكترونات التحول الداخلي تأتي من المدار K و طاقتها الحركية ذات قيمة وحيدة.

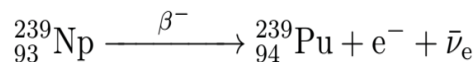
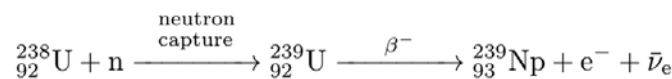
كيف يمكن التمييز بين الكترونات تفكك بيتا السالب والكترونات التحول الداخلي؟

الانشطار العفوي

- بالإضافة لتفكك ألفا وبيتا فإن بعض النوى ذات العدد الكتلي الكبير يمكن أن تنشط الى نواتين متساويتين تقريباً بالإضافة الى اصدار عدد من النترونات (2 الى أربع نترونات)
- وهذا النوع من التفككات يُسمى بالانشطار العفوي ويرافقه اطلاق كمية وفيرة من الطاقة.
- تم اكتشافه في عام 1940 عند ملاحظة أن اليورانيوم-238 بالإضافة الى تفككه بواسطة تفكك ألفا يمكن أن يخضع الى انشطار عفوي.
- يتبع الانشطار العفوي نفس عملية الانشطار النووي الا أنه لا يمكن المحافظة على استمراريته لعدم توفر تدفق كافي من النترونات المطلوب لتأمين استمرارية سلسلة الانشطار النووي.

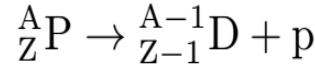
الانشطار العفوي

- يحدث الانشطار العفوي عملياً في النوى ذات الكتلة الذرية أكبر من 230 u أو في النوى التي تتحقق فيها النسبة $Z^2/A \geq 235$ حيث Z هو العدد الذري و A هو العدد الكتلي.
- النترونات التي تنتج عن الانشطار العفوي يمكن أن تلتقطها نوى أخرى مثل الانشطار العفوي لنوى اليورانيوم 238 التي ينتج عنها نترونات يتم التقاطها من قبل نوى يورانيوم 238 أخرى فيتشكل اليورانيوم 239 غير المستقر والذي يتفكك بإصدار بيتا السالبة ويتحول الى النبتونيوم Np-239. النبتونيوم 239 يتفكك بعملية بيتا السالبة الى البلوتونيوم Pu-239 كما هو موضح في التفاعلات التالية:



تفكك بإصدار بروتون

- النوى الغنية بالبروتونات تتفكك بإصدار بيتا ولكن بعض النوى ذات الوفرة العالية بالبروتونات يمكن أن تتفكك بإصدار بروتون أو بروتونين. في هذا النوع من التفكك تتحول النواة الأم إلى نواة أقل منها بالعدد الذري بمقدار واحد وكذلك العدد الكتلي:



- عندما يتم قذف بروتون من نظير مشع P، تفقد النواة الأم P إلكترونات مدارياً من غلافها الخارجي لتصبح ذرة ابنة معتدلة ${}^{A-1}_{Z-1}D$.
- يتباطئ البروتون النشط أثناء مروره عبر الوسط الماص ويلتقط إلكترونات من محيطه ليتحول إلى ذرة هيدروجين معتدلة.
- بما أن N، عدد النيوترونات لا يتغير في انحلال انبعاث البروتون، فإن النواة الأم P والنواة الابنة D هما نظائر (إيزوتونات).

تفكك بإصدار بروتون

- بالنسبة للنظائر الخفيفة والغنية جداً بالبروتونات مع عدد فردي من البروتونات Z، فإن التفكك بإصدار بروتون أمر محتمل.
- بالنسبة للنظائر الخفيفة والغنية جداً بالبروتونات ($A \approx 50$) مع عدد زوجي من البروتونات Z، قد يحدث انبعاث بروتونين في وقت واحد في الحالات التي يكون فيها انبعاث بروتونين مستقلين بشكل متتابع غير ممكن من الناحية الطاقية.

طاقة التفكك بإصدار بروتون

- طاقة التفكك Q_p المتحررة عند اصدار بروتون تظهر على شكل طاقة حركية يتقاسمها البروتون والنواة البنت:

$$Q_p = \{M(P) - [M(D) + M(H)]\}c^2 = \{M(P) - [M(D) + m_p]\}c^2 ,$$

حيث يمكن استخدام الكتلة السكونية الذرية للأم والبنت و الهيدروجين أو الكتلة السكونية للنوى الأم والبنت والهيدروجين.

- بما أن العدد الكلي للبروتونات وكذلك للنيوترونات لا يتغير في مثل هذا النوع من التفككات لذلك يمكن التعبير عن طاقة التفكك Q_p باستخدام طاقة الارتباط للنواة الأم والنواة البنت:

$$Q_p = E_B(D) - E_B(P)$$

حيث $E_B(D)$ تمثل طاقة الارتباط الكلية للنوى البنت و $E_B(P)$ تمثل طاقة الارتباط الكلية للنوى الأم.

طاقة التفكك بإصدار بروتون

$$Q_p = E_B(D) - E_B(P)$$

حيث $E_B(D)$ تمثل طاقة الارتباط الكلية للنوى البنت و $E_B(P)$ تمثل طاقة الارتباط الكلية للنوى الأم.

- لكي يكون التفكك بإصدار البروتون ممكناً، يجب أن تكون قيمة Q_p موجبة، وهذا يعني أن طاقة الارتباط الكلية للنواة البنت $E_B(D)$ يجب أن تتجاوز طاقة الارتباط الكلية للنواة الأم $E_B(P)$ ، أي أن $E_B(D) > E_B(P)$ ،
- أو أن تكون الكتلة السكونية للنواة الأم أكبر من مجموع الكتل السكونية للنواة البنت والبروتون، أي

$$M(P) > M(D) + m_p$$

طاقة التفكك بإصدار بروتون

- عند تفكك النواة الأم وهي في الحالة السكونية فإن ذلك يفرض أن يمتلك كل من النواة البنت والبروتون كميات حركة متساوية بالسعة ومتعاكسة بالاتجاه.
- الطاقة الحركية للنواة البنت $(E_K)_D = \frac{p^2}{2M_D}$ و الطاقة الحركية للبروتون $(E_K)_p = \frac{p^2}{2m_p}$.
- و طاقة التفاعل Q_p يمكن كتابتها كمجموع للطاقة الحركية للنواة البنت والطاقة الحركية للبروتون:

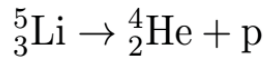
$$Q_p = (E_K)_p + (E_K)_D = \frac{p^2}{2m_p} + \frac{p^2}{2M(D)} = \frac{p^2}{2m_p} \left\{ 1 + \frac{m_p}{M(D)} \right\}$$

$$= (E_K)_p \left\{ 1 + \frac{m_p}{M(D)} \right\}$$

طاقة التفكك بإصدار بروتون

مثال:

يتفكك الليثيوم-5 إلى الهيليوم-4 بإصدار بروتون:



$$M({}^5_3\text{Li})c^2 = 5.012541u \times 931.5 \text{ MeV}/u = 4669.18 \text{ MeV}$$

$$M({}^4_2\text{He})c^2 = 4.002603u \times 931.5 \text{ MeV}/u = 3728.43 \text{ MeV}$$

$$M({}^1_1\text{H})c^2 = 1.007825u \times 931.5 \text{ MeV}/u = 938.79 \text{ MeV}$$

$$E_B({}^5_3\text{Li}) = 26.330674 \text{ MeV}$$

$$E_B({}^4_2\text{He}) = 28.295673 \text{ MeV}$$

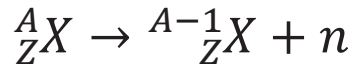
-تحقق من إمكانية حدوث هذا التفكك.

-احسب طاقة التفكك.

-احسب الطاقة الحركية للبروتون و للنواة البنت.

تفكك بإصدار نوترون

- التفكك بإصدار النوترونات يحدث في النوى الغنية بالنوترون وهو تفكك منافس لتفكك بيتا السالب ولكنه غير ملحوظ في النوى التي تتفكك طبيعياً.
- في هذا التفكك فإن العدد الذري يبقى نفسه بينما ينقص العدد الكتلي بمقدار واحد ولذلك فإن النواتين الأم والبنات هما نظائر من نوع أيزوتوب.



تفكك بإصدار نوترون

- طاقة التفكك بإصدار نوترون:
- تظهر طاقة التفكك Q_n المنبعثة في تحلل انبعاث النيوترون كطاقة حركية مشتركة بين النيوترون المنبعث والنواة الابنة وتُعبّر عنها كالتالي:

$$Q_n = \{M(P) - [M(D) + m_n]\}c^2 = \{M(P) - [M(D) + m_n]\}c^2$$

حيث يمكن استخدام الكتلة السكونية الذرية للأم والبنات أو الكتلة السكونية للنوى الأم والبنات وتمثل m_n كتلة النوترون.

تفكك بإصدار نوترون

• طاقة التفكك بإصدار نوترون:

- العدد الإجمالي للبروتونات Z وكذلك العدد الإجمالي للنيوترونات N لا يتغير في تحلل انبعاث النيوترون.
- لذلك، يمكن أيضاً التعبير عن Q_n من حيث طاقات الارتباط للنواة الأم والنواة الابنة كما يلي:

$$Q_n = E_B(D) - E_B(P)$$

حيث $E_B(D)$ تمثل طاقة الارتباط الكلية للنوى البنت و $E_B(P)$ تمثل طاقة الارتباط الكلية للنوى الأم.

تفكك بإصدار نوترون

• طاقة التفكك بإصدار نوترون:

- العدد الإجمالي للبروتونات Z وكذلك العدد الإجمالي للنيوترونات N لا يتغير في تحلل انبعاث النيوترون.
- لذلك، يمكن أيضاً التعبير عن Q_n من حيث طاقات الارتباط للنواة الأم والنواة الابنة كما يلي:

$$Q_n = E_B(D) - E_B(P)$$

حيث $E_B(D)$ تمثل طاقة الارتباط الكلية للنوى البنت و $E_B(P)$ تمثل طاقة الارتباط الكلية للنوى الأم.

- لكي يكون تحلل انبعاث النيوترون ممكناً، يجب أن تكون Q_n موجبة، وهذا يعني أن الطاقة الإجمالية للارتباط للنواة الابنة $E_B(D)$ يجب أن تتجاوز الطاقة الإجمالية للارتباط للنواة الأم $E_B(P)$ أي $E_B(D) > E_B(P)$
- أو أن الكتلة السكونية للنواة الأم $M(P)$ يجب أن تتجاوز مجموع الكتلة السكونية للنواة الابنة والنيوترون أي $M(P) > M(D) + m_n$.

تفكك بإصدار نوترون

• طاقة التفكك بإصدار نوترون:

- عند تفكك النواة الأم وهي في الحالة السكونية فإن ذلك يفرض أن يمتلك كل من النواة البنت والنوترون كميات حركة متساوية بالسعة ومتعاكسة بالاتجاه.

- الطاقة الحركية للنواة البنت $(E_K)_D = \frac{p^2}{2M_D}$ و الطاقة الحركية للنوترون $(E_K)_n = \frac{p^2}{2m_n}$.

- و طاقة التفاعل Q_P يمكن كتابتها كمجموع للطاقة الحركية للنواة البنت والطاقة الحركية للنوترون:

$$\begin{aligned} Q_n &= (E_K)_n + (E_K)_D = \frac{p^2}{2m_n} + \frac{p^2}{2M(D)} = \frac{p^2}{2m_n} \left\{ 1 + \frac{m_n}{M(D)} \right\} \\ &= (E_K)_n \left\{ 1 + \frac{m_n}{M(D)} \right\} \end{aligned}$$

- ومنه فإن الطاقة الحركية للنوترون:

تفكك بإصدار نوترون

• طاقة التفكك بإصدار نوترون:

- و طاقة التفاعل Q_P يمكن كتابتها كمجموع للطاقة الحركية للنواة البنت والطاقة الحركية للنوترون:

$$\begin{aligned} Q_n &= (E_K)_n + (E_K)_D = \frac{p^2}{2m_n} + \frac{p^2}{2M(D)} = \frac{p^2}{2m_n} \left\{ 1 + \frac{m_n}{M(D)} \right\} \\ &= (E_K)_n \left\{ 1 + \frac{m_n}{M(D)} \right\} \end{aligned}$$

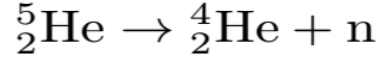
- ومنه فإن الطاقة الحركية للنوترون:

$$(E_K)_n = Q_n \frac{1}{\left(1 + \frac{m_n}{M(D)} \right)}$$

تفكك بإصدار نوترون

• مثال:

- من أمثلة التفكك بإصدار نوترون هو تفكك الهليوم-5 الى الهليوم-4 بعمر نصف $8 \times 10^{-22} \text{ s}$:



• تحقق من إمكانية حدوث هذا التفكك.

$$\mathcal{M}({}^5_2\text{He})c^2 = 5.012221u \times 931.5 \text{ MeV}/u = 4668.88 \text{ MeV}$$

$$\mathcal{M}({}^4_2\text{He})c^2 = 4.002603u \times 931.5 \text{ MeV}/u = 3728.43 \text{ MeV}$$

$$m_n c^2 = 1.008665u \times 931.5 \text{ MeV}/u$$

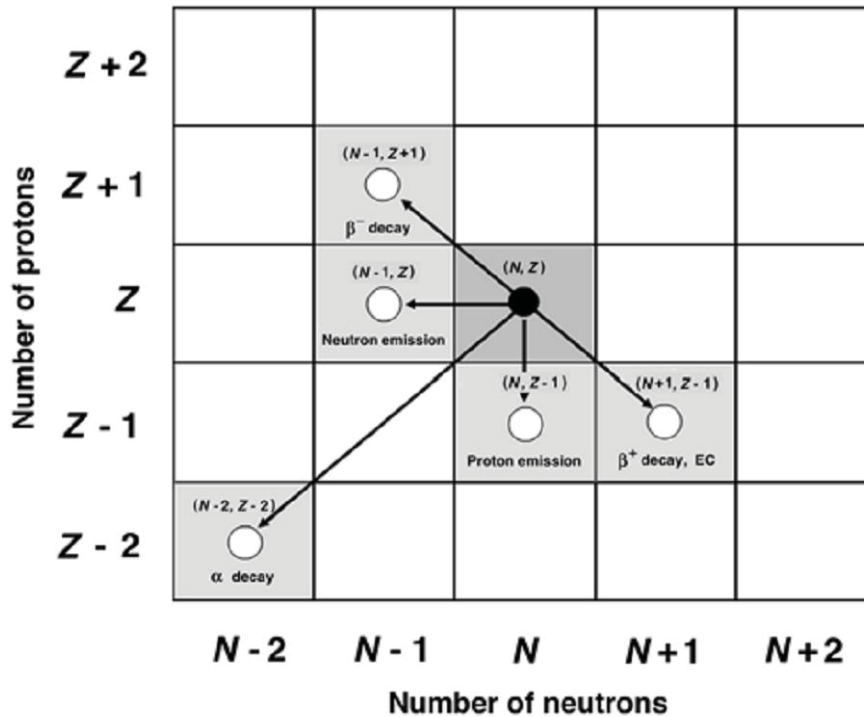
$$E_B({}^5_2\text{He}) = 27.405673 \text{ MeV}$$

$$E_B({}^4_2\text{He}) = 28.295673 \text{ MeV} .$$

• -احسب طاقة التفكك.

• -احسب الطاقة الحركية للنترون و للنواة البنت.

المعطيات:



مخطط يساعد في تحديد نوع عملية التفكك حسب عدد Z و N

مخطط يوضح تفكك نواة (N,Z)



مكتبة
A to Z