كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء اشعاعية

المحاضرة : الرابعة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

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

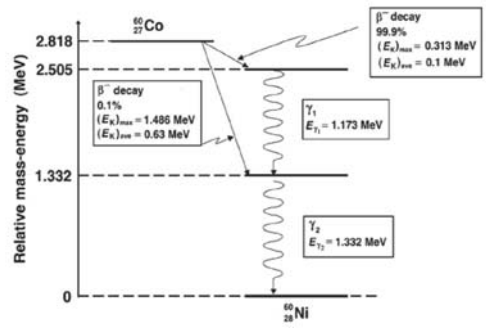
الفيزياء الاشعاعية

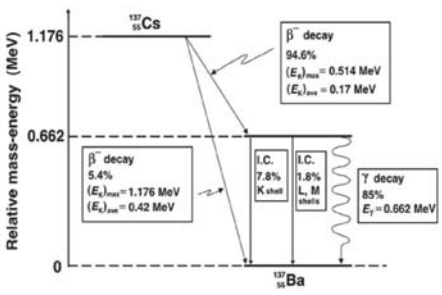
المحاضرة-4

التفككات الاشعاعية (الجزء الثاني)

تفكك غاما

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





تفكك غاما

- في بعض تفككات ألفا وبيتا فأن النواة البنت المثارة لا تتخلص من اثارتها 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.
- نُرمز للنوى شبه المستقرة بالحرف m مثل $^{137}{}_{56}^{m}Ba$ 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 فأن كمية الحركة للنواة الوليدة $P_D = M_D \vartheta_D$ تتساوى مع كمية الحركة لأشعة غاما $P_\gamma = \frac{E_\gamma}{c}$:

$$P_D = P_\gamma$$

  - وتكون الطاقة الحركية للنواة الوليدة:

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

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

تفكك غاما

- طاقة تفكك غاما
  - وتكون الطاقة الحركية للنواة الوليدة:

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

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

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

  - وبالتالي فأن طاقة تفكك غاما يمكن كتابتها بالشكل:

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

تفكك غاما

- طاقة تفكك غاما
  - وبالتالي فأن طاقة تفكك غاما يمكن كتابتها بالشكل:

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

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

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

التحول الداخلي

- بعض النوى تتخلص من اثارتها بأن تُعطي طاقتها الى أحد الالكترونات المدارية لنفس الذرة الذي يغادرها ويتركها في حالة تأيين X^+.
- ويمكن كتابة هذا التفكك على الشكل:

$$^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X^{+} + e^{-} + Q_{IC} \rightarrow {}^{A}_{Z}X\,,$$

حيث X^* تُمثل النواة في الحالة المثارة و X^+ تُمثل 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 فأن بعض النوى ذات العدد الكتلي الكبير يمكن أن تنشطر 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 كماهو موضح في التفاعلات التالية:

$$^{238}_{92}\mathrm{U} + \mathrm{n} \xrightarrow{\text{neutron capture}} {}^{239}_{92}\mathrm{U} \xrightarrow{\beta^-} {}^{239}_{93}\mathrm{Np} + \mathrm{e}^- + \bar{\nu}_\mathrm{e}$$

$$^{239}_{93}\mathrm{Np} \xrightarrow{\beta^-} {}^{239}_{94}\mathrm{Pu} + \mathrm{e}^- + \bar{\nu}_\mathrm{e}$$

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 الى نواة أقل منها بالعدد الذري بمقدار واحد وكذلك العدد الكتلي:

$$^{A}_{Z}P \rightarrow ^{A-1}_{Z-1}D + p$$

- عندما يتم قذف بروتون من نظير مشع P، تفقد النواة الأم P إلكتروناً مدارياً من غلافها الخارجي لتصبح ذرة ابنة معتدلة $^{A-1}_{Z-1}D$.
- يتباطىء البروتون النشط أثناء مروره عبر الوسط الماص ويلتقط إلكتروناً من محيطه ليتحول الى 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≈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:

$$Q_{\mathrm{p}} = \{\mathcal{M}(\mathrm{P}) - [\mathcal{M}(\mathrm{D}) + \mathcal{M}(\mathrm{H})]\}c^2 = \{M(\mathrm{P}) - [M(\mathrm{D}) + m_{\mathrm{p}}]\}c^2 ,$$

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

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

$$Q_{\mathrm{p}} = E_{\mathrm{B}}(\mathrm{D}) - E_{\mathrm{B}}(\mathrm{P})$$

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

طاقة التفكك بإصدار بروتون

$$Q_{\mathrm{p}} = E_{\mathrm{B}}(\mathrm{D}) - E_{\mathrm{B}}(\mathrm{P})$$

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 فأن 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:

$$Q_{\mathrm{p}} = (E_{\mathrm{K}})_{\mathrm{p}} + (E_{\mathrm{K}})_{\mathrm{D}} = \frac{p^2}{2m_{\mathrm{p}}} + \frac{p^2}{2M(\mathrm{D})} = \frac{p^2}{2m_{\mathrm{p}}}\left\{1 + \frac{m_{\mathrm{p}}}{M(\mathrm{D})}\right\}$$

$$= (E_{\mathrm{K}})_{\mathrm{p}}\left\{1 + \frac{m_{\mathrm{p}}}{M(\mathrm{D})}\right\}$$

طاقة التفكك بإصدار بروتون

مثال:

يتفكك الليثيوم-5 الى الهيليوم-4 بإصدار بروتون:

$$^{5}_{3}\mathrm{Li} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + \mathrm{p}$$

-تحقق من إمكانية حدوث هذا التفكك.
-احسب طاقة التفكك.
-احسب الطاقة الحركية للبروتون و للنواة البنت.

$\mathcal{M}(^{5}_{3}\mathrm{Li})c^2 = 5.012541u \times 931.5\ \mathrm{MeV}/u = 4669.18\ \mathrm{MeV}$

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

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

$E_{\mathrm{B}}(^{5}_{3}\mathrm{Li}) = 26.330674\ \mathrm{MeV}$

$E_{\mathrm{B}}(^{4}_{2}\mathrm{He}) = 28.295673\ \mathrm{MeV}$

تفكك بإصدار نترون

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

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-1}_{Z}X + n $$

تفكك بإصدار نترون

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

$$ Q_{\mathrm{n}} = \{\mathcal{M}(\mathrm{P}) - [\mathcal{M}(\mathrm{D}) + m_{\mathrm{n}}]\}c^2 = \{M(\mathrm{P}) - [M(\mathrm{D}) + m_{\mathrm{n}}]\}c^2 $$

حيث يمكن استخدام الكتلة السكونية الذرية للأم والبنت أو الكتلة السكونية للنوى الأم والبنت و تمثل m_n كتلة النترون.

تفكك بإصدار نترون

- طاقة التفكك بإصدار نترون:
  - 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:

$$Q_{\mathrm{n}} = E_{\mathrm{B}}(\mathrm{D}) - E_{\mathrm{B}}(\mathrm{P})$$

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

تفكك بإصدار نترون

- طاقة التفكك بإصدار نترون:
  - 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:

$$Q_{\mathrm{n}} = E_{\mathrm{B}}(\mathrm{D}) - E_{\mathrm{B}}(\mathrm{P})$$

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 نترون

- ## طاقة التفكك بإصدار نترون:
  - عند تفكك النواة الأم وهي في الحالة السكونية فأن ذلك يفرض أن يمتلك كل من النواة البنت والنترون كميات حركة متساوية بالسعة ومتعاكسة بالاتجاه.
  - الطاقة الحركية للنواة البنت $(E_K)_D = \frac{P^2}{2M_D}$ و الطاقة الحركية للنتروتون $(E_K)_n = \frac{P^2}{2m_n}$.
  - و طاقة التفاعل Q_P يمكن كتابتها كمجموع للطاقة الحركية للنواة البنت والطاقة الحركية للنترون:

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

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

  - ومنه فأن الطاقة الحركية للنترون:

تفكك بإصدار نترون

- ## طاقة التفكك بإصدار نترون:
  - و طاقة التفاعل Q_P يمكن كتابتها كمجموع للطاقة الحركية للنواة البنت والطاقة الحركية للنترون:

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

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

  - ومنه فأن الطاقة الحركية للنترون:

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

تفكك بإصدار نترون

- مثال:
  - من أمثلة التفكك بإصدار نترون هو تفكك الهليوم-5 الى الهليوم-4 بعمر نصف $8 * 10^{-22}$s :

$$^{5}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + \mathrm{n}$$

- تحقق من إمكانية حدوث هذا التفكك.
- -احسب طاقة التفكك.
- -احسب الطاقة الحركية للنترون و للنواة البنت.

المعطيات:

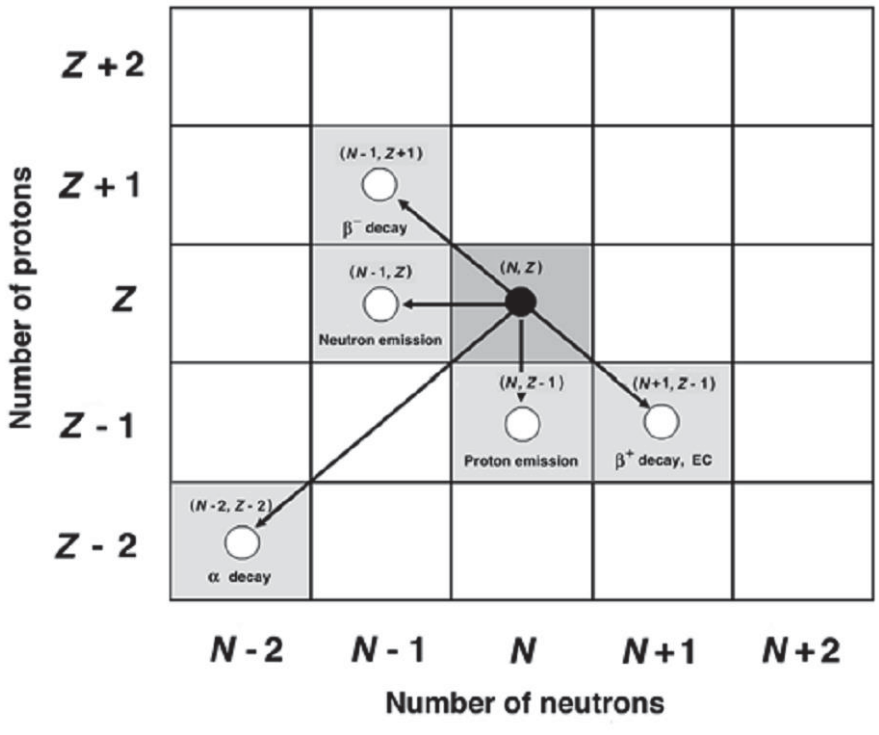
$\mathcal{M}(^{5}_{2}\mathrm{He})c^2 = 5.012221u \times 931.5\ \mathrm{MeV}/u = 4668.88\ \mathrm{MeV}$

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

$m_{\mathrm{n}}c^2 = 1.008665u \times 931.5\ \mathrm{MeV}/u$

$E_{\mathrm{B}}(^{5}_{2}\mathrm{He}) = 27.405673\ \mathrm{MeV}$

$E_{\mathrm{B}}(^{4}_{2}\mathrm{He}) = 28.295673\ \mathrm{MeV}$.



مخطط يوضح تفكك نواة (N,Z)

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

مكتبة A to Z