الفصل الثالث

النشاط الاشعاعي

❖ ظاهرة النشاط الاشعاعي Radioactivity :

هي ظاهرة انبعاث جسيمات نووية (γ و β و α مثلا) من بعض النوى المتهيجة . وتتصف ظاهرة النشاط الاشعاعي بانها عشوائية وذاتية ، فهي عشوائية لان عدد النوى المتحللة في وحدة الزمن ليس ثابتا، وذاتية لانه لا يمكن التأثير عليها بأي مؤثر خارجي كدرجة الحرارة او الضغط او الرطوبة ، ولا بحالة المادة صلبة او سائلة او غازية ، نقية او مركبة ، حتى ان تحلل نواة ما ليس له علاقة بتحلل النوى المجاورة كما ان نمط تحللها (في حالة تحلل تلك النوى بنمطين : مثلا نمط تحلل α ونمط تحلل كاما) لا يعتمد على نمط تحلل جاراتها.

❖ الفعالية Activity :

هي المعدل الزمني لانبعاث الجسيمات من عينة مشعة من النوى ، ويتناسب عدد النوى المتحللة (اي عدد الجسيمات المنبعثة) dN مع عدد النوى المشعة N ، ومع طول الفترة الزمنية للتحلل dt ، اي ان :

$$dN \alpha N\, dt \rightarrow dN = -\lambda N\, dt \qquad \ldots\ldots\ldots(1)$$

حيث λ : ثابت التحلل والذي يعني او يمثل العدد الجزئي للنوى المتحللة (نسبة الى عدد كل النوى المتوفرة) ولكل وحدة زمن ، ولذا فوحدة قياس (λ) هي مقلوب وحدة الزمن اي $\frac{1}{S}$ ، وبتكامل المعادلة (1) :

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \rightarrow \int_{N_o}^{N} \frac{dN}{N} = \int_0^t -\lambda dt$$

$$\therefore Ln\frac{N}{N_o} = -\lambda t \rightarrow \ N = N_o e^{-\lambda t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$ قانون الانحلال الاشعاعي

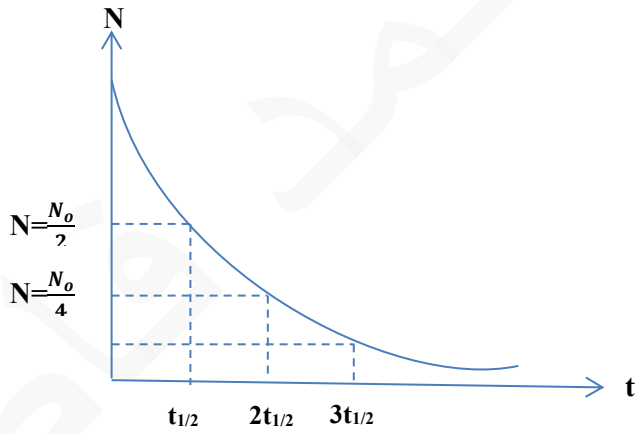
حيث N : عدد النوى المتبقية بعد مرور الفترة الزمنية t على لحظة صنع المصدر .

$N=N_o$: عدد النوى المشعة لحظة خلق او صنع المصدر اي عند $t=0$

من الواضح ان عدد النوى المشعة المتبقية N يتناسب تناسبا أسيا تناقصيا مع الزمن .

وتسمى الفترة الزمنية التي خلالها ينقص عدد النوى المشعة الى نصف قيمتها الاصلية عمر النصف half-life time ($t_{1/2}$)

فبجعل $N = \frac{N_o}{2}$ في معادلة (2) واخذ (Ln) لطرفي معادلة (2) نحصل على :



$$\frac{N_o}{2} = N_o e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$Ln(\frac{1}{2}) = -\lambda\, t_{1/2} \rightarrow Ln1 - Ln2 = -\lambda\, t_{1/2}$$

$$\therefore 0 - 0.693 = -\lambda t_{1/2}$$

$$\therefore t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

ومن ناحية اخرى فان فعالية المصدر تساوي القيمة المطلقة للمعدل الزمني لتغير عدد النوى. فبأخذ المشتقة الزمنية لمعادلة (2) نجد ان :

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_o e^{-\lambda t} = -\lambda N \rightarrow \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda N$$

$\therefore A = A_o e^{-\lambda t}$ .....(3)

حيث A_o : فعالية المصدر في لحظة انتاجه عندما $t=0$

A : فعاليته بعد مضي الفترة t .

من معادلة (3) ومن تعريف الفعالية يتضح ان وحدة الفعالية هي (تحلل/ثا) ($\frac{dis}{s}$) الا ان هذه الوحدة صغيرة جدا ، لذا ولاجل الاغراض العملية والعلمية تستعمل وحدة الكيوري (*curie*) تخليدا لمدام كوري التي كانت من رواد دارسي ظاهرة النشاط الاشعاعي ، حيث :

1 curie =ci=$3.7\times10^{10}\ \frac{dis}{s}$, mci=$3.7\times10^{7}\ \frac{dis}{s}$, μci=$3.7\times10^{4}\ \frac{dis}{s}$

وهناك وحدة البيكرل (*Bequerel*) وهو انحلال واحد في الثانية الواحدة. $Bq = \frac{dis}{sec}$

وحيث ان نمط تحلل ما لا يعتمد على نمط التحلل الاخر للعينة المشعة (التي تتحلل بنمطين ، نمط تحلل α ونمط تحلل γ مثلا) ، فعليه فان نقصان عدد النوى المشعة في الفترة dt سينتج عن نمطي التحلل كليهما ، اي ان :

$-dN = dN_\alpha + dN_\gamma = \lambda_\alpha N\,dt + \lambda_\gamma N\,dt$

$\int_{No}^{N} \frac{dN}{N} = -\int_0^t (\lambda_\alpha + \lambda_\gamma) dt$

$\therefore N = N_o e^{-(\lambda_\alpha+\lambda_\gamma)t} = N_o e^{-\lambda_{tot}\cdot t}$ ..... (4)

حيث λ_{tot} هو ثابت التحلل الكلي وهو يساوي $\lambda_{tot} = (\lambda_\alpha + \lambda_\gamma)$ وبضرب طرفي هذه المعادلة بعدد النوى المشعة المتبقية N يمكن ان نستدل على ان :

$A_{tot} = A_\alpha + A_\gamma$ ..... (5)

اي ان الفعالية الكلية لمصدر يتحلل بنمطين تساوي مجموع فعاليتي النمطين كل على انفراد وتسمى النسبة :

$\frac{A_\alpha}{A_{tot}} = \frac{\lambda_\alpha}{\lambda_{tot}}$ نسبة التفرع (Branching ratio)

$\frac{A_\gamma}{A_{tot}} = \frac{\lambda_\gamma}{\lambda_{tot}}$

ان القيمة العملية لعمر النصف للنواة تساوي $\frac{0.693}{\lambda_{tot}}$ ولذلك فأن العمر النصفي للنوى الام والاعمار النصفية الجزئية لكل تفرع هي :

$t_{tot} = \frac{0.693}{\lambda_{tot}}$, $t_\alpha = \frac{0.693}{\lambda_\alpha}$, $t_\gamma = \frac{0.693}{\lambda_\gamma}$

وان عدد النوى الام والنوى الوليدة للفرعين الفا وكاما يمكن الحصول عليها من المعادلات الاتية :

$N_1 = N_o e^{-\lambda_{tot} t}$

$N_{2\alpha} = \left(\frac{\lambda_\alpha}{\lambda_{tot}}\right) N_o \left(1 - e^{-\lambda_{tot} t}\right)$

$N_{2\gamma} = \left(\frac{\lambda_\gamma}{\lambda_{tot}}\right) N_o \left(1 - e^{-\lambda_{tot} t}\right)$

❖ **معدل العمر average time (τ)**

هو معدل الزمن الذي تبقى خلاله النوى بدون تحلل اشعاعي حيث :

$\tau = \frac{1}{\lambda}$

$\therefore \tau = \frac{1}{\frac{0.693}{t_{1/2}}} = 1.44\ t_{1/2}$

or $t_{1/2} = 0.693\ \tau$

❖ **العدد الكلي للنوى المشعة (No)**

لمعرفة عدد النوى المشعة الاصلية No ، نطبق العلاقة الاتية :

$$N_o = \frac{w(gm)\times N_A}{A}$$

حيث w = وزن النظير النقي (او نسبة وزنه إذا كان على شكل مركب) بالغرامات

N_A = عدد افوكادرو ويعادل 6.025×10^{23} atom/mol

A = العدد الكتلي

Not:

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$$

حيث n : عدد المولات ، N : عدد الذرات ، N_A : عدد افوكادرو

m : الوزن ، M : الكتلة الذرية بوحدة gm/mol

$$\therefore N = \frac{mN_A}{M}$$

$$\therefore N = \frac{gm\times\frac{atom}{mole}}{\frac{gm}{mole}} = atom\,.$$

س/احسب ثابت التحلل اليورانيوم ^{235}U (عمر النصف = 7.1×10^8 y) ، وما هو عدد التحللات في الثانية الواحدة لـ (0.2 gm) من ^{235}U بوحدة الكوري ؟

الحل :

$$1)\ \lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{7.1\times10^8\times365\times24\times60\times60}$$

$$\lambda = 3.095\times10^{-17}\ \ sec^{-1}$$

2) A= λN

$$N = \frac{mN_A}{A} = \frac{0.2\times6.025\times10^{23}}{235} = 5.1277\times10^{20}\ atom$$

$$\therefore A = \lambda N = 3.095\times10^{-17}\times5.1277\times10^{20} = 1.587\times10^4\ \ dis/sec$$

$$\therefore A = 4.3\times10^{-7}\ ci \qquad ci=3.7\times10^{10}\ dis/sec$$

س/إذا علمت ان عمر النصف لعنصر مشع يساوي 20 يوم جد :

1)الزمن اللازم لانحلال $\frac{3}{4}$ ذراته الاصلية .

2)الزمن اللازم لبقاء $\frac{1}{8}$ ذراته الاصلية دون انحلال

3) معدل عمر ذلك النظير ؟

الحل /

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

$N=N_0 - \frac{3}{4} N_0 = \frac{1}{4} N_o \rightarrow \frac{1}{4} N_o = N_o e^{-\lambda t}$

$2^{-2} = e^{-\lambda t} \rightarrow -2 \ln 2 = -\lambda t \rightarrow t = \frac{2\,Ln2}{\lambda} = 2.\frac{0.693}{\lambda}$

$\therefore t = 2.\ t_{1/2} = 2\times 20 = 40$ days.

2) $\frac{1}{8} N_0 = N_0 e^{-\lambda t} \rightarrow 2^{-3} = e^{-\lambda t} \rightarrow -3 \ln 2 = -\lambda t$

$\therefore t = 3 \frac{0.693}{\lambda} = 3\ t_{1/2} = 3\times 20 = 60$ days

3) $\tau_2 = \frac{1}{\lambda} = \frac{20\times 24\times 60\times 60}{0.693} = 2.4 \times 10^6\ sec = 27.7\ days$

❖ **<u>طرق انتاج النظائر المشعة :</u>**

<u>1-انتاج نظير مشع بالقصف النووي :</u>

لنفرض ان عينة من مادة غير مشعة قد قصفت بالنيوترونات وان نظيراً مشعاً قد تم انتاجه بمعدل ثابت (Q) ، وبنفس الوقت يتحلل النظير المشع بمعدل $(-\lambda N)$ ، حيث N عدد النوى المشعة الموجودة في تلك اللحظة ، λ ثابت تحلل النظير ، فعليه فان محصلة معدل تغير N مع الزمن يعطى بالعلاقة الاتية :

$$\frac{dN}{dt} = Q - \lambda N \rightarrow \frac{dN}{Q-\lambda N} = dt \qquad \times \frac{-\lambda}{-\lambda}$$

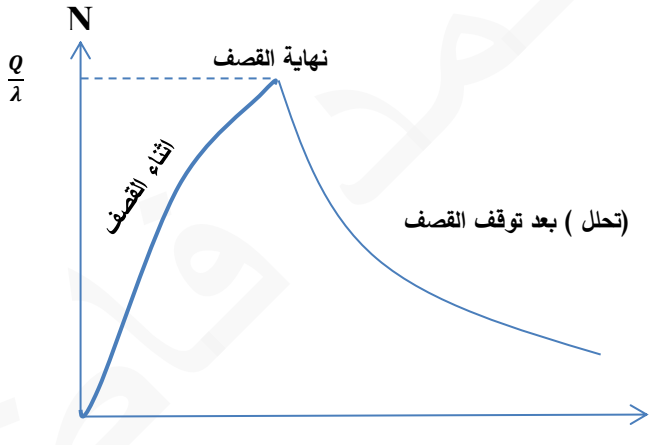
$$\therefore \int_0^N -\frac{\lambda dN}{Q-\lambda N} = \int_0^t -\lambda t \rightarrow Ln(Q-\lambda N)\Big|_0^N = -\lambda t$$

$$Ln\frac{Q-\lambda N}{Q} = -\lambda t \rightarrow \frac{Q-\lambda N}{Q} = e^{-\lambda t}$$

$$\therefore Q - \lambda N = Qe^{-\lambda t} \rightarrow \lambda N = Q - Qe^{-\lambda t}$$

$$\therefore N = \frac{Q}{\lambda}\left(1 - e^{-\lambda t}\right)$$

وبرسم N كدالة للزمن سنحصل على الشكل ادناه ، ويتوقف القصف بعد $t=\infty$ ، حيث نحصل على اعلى فعالية اشعاعية :



مثال / عند قصف النيكل ^{60}Ni بذرات الهيدروجين الثقيل (ديوترونات) يتكون النحاس ^{61}Cu والذي له عمر نصف يساوي 3.3 hr ، بمقدار 5×10^8 atom/sec جد :

1)عدد ذرات النحاس ^{61}Cu في حالة الاشباع ؟

2)ما هو مقدار الوزن المتكون للنحاس ^{61}Cu ؟

الحل :

$$^{60}_{28}N_i + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{61}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n$$

1)$N=\frac{Q}{\lambda}\left(1 - e^{-\lambda t}\right)$

في حالة الاشباع فان $t=\infty$ فان ،

$$N(t=\infty) = \frac{Q}{\lambda}\left(1 - e^{-\lambda t}\right) = \frac{Q}{\lambda}$$

$$N = \frac{5\times10^{8}}{\frac{0.693}{3.3\times60\times60}} = 8.57 \times 10^{12} \ \ atoms$$

$$2)\ N = \frac{mN_A}{A} \rightarrow m = \frac{N*A}{N_A} = \frac{8.571\times10^{12}\times61}{6.023\times10^{23}} = 8.678 \times 10^{-10}\ gm$$

مثال/ما مقدار النشاط الاشعاعي لصفيحة من الذهب متكونة من عملية تشعيع لفترة خمس ساعات في مفاعل علما ان سرعة التكوين هي 10^9 atom/sec ، وان عمر النصف هو 2.69 day ؟

الحل/

$$N = \frac{Q}{\lambda}\left(1 - e^{-\lambda t}\right)$$

$$N\lambda = Q\left(1 - e^{-\lambda t}\right) = 10^9[1 - exp(-0.693 \times 5/2.69 \times 24)]$$

$$N\lambda = 5.22 \times 10^7 \frac{dis}{sec} = 1.4 \times 10^{-3}\ Ci = 1.4\ mci$$

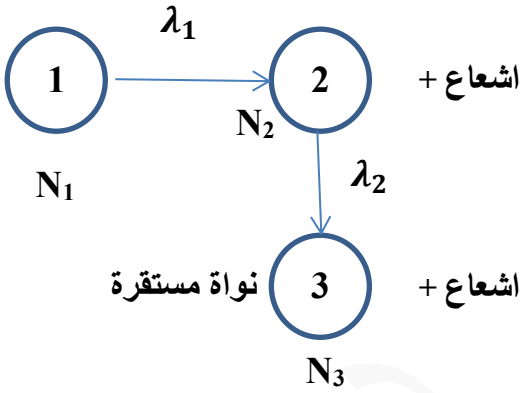
2- انتاج نظير مشع بتحلل نواة ام مشعة (الانحلال المتعاقب) :

في العديد من الحالات التي يمكن مواجهتها في عملية انحلال النشاط الاشعاعي ان النواة الام parent nucleus تنحل الى نواة وليدة daughter nucleus والتي تكون بدورها ذات نشاط اشعاعي أيضاً وتنحل الى نواة حفيدة grand daughter وهكذا يكون من الممكن الحصول على سلسلة من الانحلالات ذات النشاط الاشعاعي .... 1→2→3→4→ .

ولنفرض انه يوجد لدينا من البداية (N_o) من نوى الام عند بداية الزمن (t=0) وانه لا يوجد نوى لناتج الانحلال decay products اصلا ، وان كل نواة منحلة تنتج نواة وليدة واحدة ، ولتسهيل دراسة الموضوع سنفرض ان النواة الوليدة (3) هي مستقرة :

$$A \xrightarrow{\lambda_1} B \xrightarrow{\lambda_2} C$$

No 0 0 t=0



N_1 N_2 N_3 بعد فترة زمنية t

وبعد مرور فترة زمنية معينة (t) تبدأ النواة الام بالانحلال ويقل عددها حسب قانون الانحلال:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \qquad \text{.....(1)}$$

اما النوى الوليدة فيزداد عددها نتيجة لانحلال النوى الام ويقل نتيجة لانحلالها هي أيضاً ، وعليه فان :

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \qquad \text{.....(2)}$$

اما النوى الحفيدة فيزداد عددها باستمرار لانها نوى مستقرة وغير مشعة:

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \qquad \text{.....(3)}$$

فبالنسبة للمعادلة (1) يمكن الحصول على عدد نوى الام N_1 من التكامل المباشر لها :

$$N_1 = N_o e^{-\lambda_1 t} \qquad \text{.....(4)}$$

اما المعادلة (2) فيتم حلها كالاتي :

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

نعوض عن N_1 من معادلة (4) :

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_0 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \qquad \text{.....(5)}$$

وبالضرب $(e^{\lambda_2 t})$:

$$e^{\lambda_2 t} dN_2 = \lambda_1 N_0 e^{-\lambda_1 t} e^{+\lambda_2 t} dt - \lambda_2 N_2 e^{\lambda_2 t} dt$$

$$e^{\lambda_2 t} dN_2 + \lambda_2 N_2 e^{\lambda_2 t} dt = \lambda_1 N_0 e^{(\lambda_2 - \lambda_1) t}\, dt$$

$$\int_0^{N_2} d(N_2\, e^{\lambda_2 t}) = \int_0^t \lambda_1 N_0 e^{(\lambda_2 - \lambda_1) t}\, dt$$

$$N_2 e^{\lambda_2 t} = \frac{\lambda_1 N_0}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[e^{(\lambda_2-\lambda_1)t} - 1\right]$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1 N_0}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[e^{-\lambda_2 t} e^{(\lambda_2-\lambda_1)t} - e^{-\lambda_2 t}\right]$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1 N_0}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right] \quad \text{.....(5) حفظ}$$

اما المعادلة (3) فيمكن حلها كالاتي :

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_0}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right]$$

$$\int_0^{N_3} d\,N_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_0}{\lambda_2 - \lambda_1}\int_0^t \left[e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right] dt$$

$$N_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_0}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[\frac{e^{-\lambda_2 t}}{-\lambda_1} - \frac{e^{-\lambda_2 t}}{-\lambda_2}\right]_0^t$$

$$N_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_0}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[\frac{e^{-\lambda_2 t}}{-\lambda_1} - \frac{e^{-\lambda_2 t}}{-\lambda_2}\right] - \left[\frac{1}{-\lambda_1} - \frac{1}{-\lambda_2}\right]$$

$$N_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_0}{\lambda_2 - \lambda_1}\left\{\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1 \lambda_2} - \frac{\lambda_2 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_1 e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_2 \lambda_1}\right\}$$

$$\therefore N_3 = N_0\left\{1 - \frac{\lambda_2 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_1 e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_2 - \lambda_1}\right\} \quad \text{..... (6) حفظ}$$

❖ **<u>التوازن الاشعاعي :</u>**

يقصد بالتوازن الاشعاعي عدم تغير نسب الانوية المشعة في العينة الواحدة بمرور الزمن ، وهناك حالتين يحدث فيهما التوازن الاشعاعي :

<u>1-التوازن الانتقالي :</u>

يحدث هذا التوازن بين نوى العناصر المشعة الام والنظائر الوليدة إذا كان عمر النصف للنواة الام كبير نسبياً مقارنة بعمر النصف للنواة الوليدة:

$(T_{1/2})_1 > (T_{1/2})_2 \rightarrow \lambda_1 < \lambda_2$

ومن خلال معادلة (5) :

$$N_2 = \frac{\lambda_1 N_0}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right]$$

فان معدل الانهيار في قيمة $(e^{-\lambda_2 t})$ يكون اسرع مما يحدث في قيمة $(e^{-\lambda_1 t})$ ، وخاصة عند زيادة الزمن t ، وهكذا نجد انه يمكن اهمال $(e^{-\lambda_2 t})$ مقارنة بـ $(e^{-\lambda_1 t})$ بعد زمن مناسب يتوقف على $(T_{1/2})_2$, $(T_{1/2})_1$ ، وبالتالي فان عدد انوية النظير الوليد هو :

$$N_2 = \frac{\lambda_1 N_0}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} = \frac{\lambda_1 N_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \rightarrow \lambda_2 N_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \lambda_1 N_1$$

$$\therefore \frac{A_2}{A_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

حيث A_2 , A_1 هما كفاءة النشاط الاشعاعي للنوى الام والوليدة على الترتيب ، وهكذا يمكن توقع ان الشدة الاشعاعية للنوى الوليدة تصبح اعلى من الشدة الاشعاعية للنوى الام عند حدوث توازن مرحلي (انتقالي) .

2-التوازن الاشعاعي الابدي:

يحدث هذا النوع من التوازن عندما يكون عمر النصف للنواة الام كبير جدا مقارنة بعمر النصف للنواة الوليدة :

$$(T_{1/2})_1 >> (T_{1/2})_2 \rightarrow \lambda_1 << \lambda_2$$

وبالتالي قد تقترب λ_1 من الصفر اي ان $e^{-\lambda_1 t} \cong 1$

$$\therefore N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_0 \left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right)$$

$\therefore \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_0 \left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right)$ → عندما تكون t صغيرة

ولكن عندما تزداد الفترة الزمنية المنقضية ، نجد ان قيمة $(e^{-\lambda_2 t})$ تقارب الصفر

$$\therefore \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1 \rightarrow A_2 = A_1$$

وهكذا نجد ان من صفات التوازن الابدي ان الشدة الاشعاعية للنوى الوليدة تكافئ تماما الشدة الاشعاعية للنوى الام .

❖ زمن اعظم فعالية لنوى وليدة منتجة :

ان عدد النوى الوليدة N_2 ، حسب المعادلة (5) يساوي صفراً في بداية الزمن $t=0$ ، $t=\infty$ حيث تكون جميع النوى الام والنوى الوليدة قد انحلت . لذا نجد في فترة زمنية وسطية t_{max} ، حيث ان النوى الوليدة وبالتالي فعاليتها تمر بقيمتها العظمى اي عند الزمن t_{max} فان :

$$\frac{dN_2}{dt} = 0$$

وباجراء التفاضل على المعادلة (5) بالنسبة للزمن يمكن الحصول على الزمن الاعظم t_{max} الذي يكون فيه تركيز N_2 اقصى ما يمكن وكالاتي:

$$N_2 = N_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = N_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1}\left(-\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}\right) = 0$$

وبما ان الحد $\left(N_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1}\right)$ لا يمكن ان يساوي صفراً ، فاذن المقادير الموجودة داخل القوسين يجب ان تساوي صفراً ، اذن :

$$-\lambda_1 e^{-\lambda_1 t_{max}} - \lambda_2 e^{-\lambda_2 t_{max}} = 0 \rightarrow \lambda_2 e^{-\lambda_2 t_{max}} = \lambda_1 e^{-\lambda_1 t_{max}}$$

$$Ln\,\lambda_2 - \lambda_2 t_{max} = Ln\,\lambda_1 - \lambda_1 t_{max}$$

$$Ln\,\lambda_2 - Ln\,\lambda_1 = \lambda_2 t_{max} - \lambda_1 t_{max} \rightarrow t_{max} = \frac{Ln\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)}{\lambda_2-\lambda_1} \quad \text{.....(12)}$$

ولغرض حساب الفعالية العظمى للنوى الوليدة يجب ان نحسب اولا الزمن الذي تصل به الفاعلية قيمتها العظمى من معادلة (12) ثم نطبق :

$$A_{max} = N_0\lambda_1 \frac{\lambda_2}{\lambda_2-\lambda_1}\left(e^{-\lambda_1 t_{max}} - e^{-\lambda_2 t_{max}}\right) \text{ ..... (13)}$$

❖ **أنماط الانحلال :**

اولا / انحلال الفا : α- decay

يحدث انحلال الفا لانوية العناصر الثقيلة (الاثقل من الرصاص) بشرط ان تكون غير مستقرة ، وتتميز انوية تلك العناصر بانخفاض مقدار طاقة الربط النووية ولذلك يحدث لها اضمحلال ذاتي بدون مؤثرات خارجية . ومن امثلة باعثات الفا اليورانيوم ^{238}U ، الراديوم ^{226}Ra ، الرادون ^{222}Rn ... الخ .

جسيمة الفا جسيمة نووية تتكون من بروتونين ونيوترونين ، لذا فهي تشبه في تركيبها نواة الهيليوم (^4_2He) . نقول تشبه ولا نقول هي لأن تكوينها وانبعاثها يحدث آنيا لحظة انبعاثها، فهي لم تكن موجودة ككيان قائم داخل النواة قبل انبعاثها .

يمثل تحلل الفا بالمعادلة الاتية :

$$^A_ZP_N \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}D_{N-2} + \alpha(^4_2He_2) + Q_\alpha$$

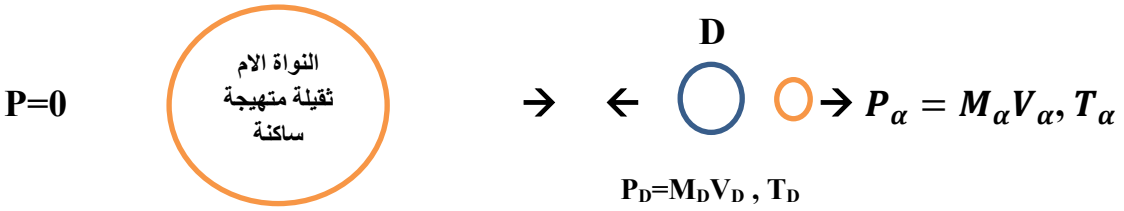
حيث $^A_ZP_N$ النواة الام parent nucleus

$^{A-4}_{Z-2}D_{N-2}$ النواة البنت Daughter nucleus

Q_α : طاقة تحلل الفا .

ومن الواضح ان تحلل الفا يسبب نقصان العدد الكتلي للنواة الام بمقدار (4) ويسبب نقصان عددها الذري بمقدار (2) ، وكذلك عددها النيوتروني.

يمكن ان تنبعث جسيمة الفا (α) من بعض النوى الثقيلة المتهيجة التي يكون فيها (A>150) عادة . فاذا كانت كتلة النواة الام في انحلال الفا هي M_P ، وكتلة النواة البنت هي M_D وكتلة جسيمة الفا هي M_α ، نفرض ان النواة الام قد تحللت وهي بحالة سكون اي ان زخمها الخطي قبل التحلل يساوي صفر ، ولكي يبقى الزخم الخطي محفوظا فيجب ان يكون زخم الفا يساوي بالمقدار ويعاكس بالاتجاه لزخم النواة البنت ، اي ان :



$\therefore\ P_\alpha = P_D \rightarrow\ M_\alpha V_\alpha = M_D V_D$

But $T=\frac{1}{2}mV^2 = \frac{m^2V^2}{2m} = \frac{P^2}{2m} \Rightarrow T_D = \frac{P_D^2}{2M_D}$ .....(1)

$$T_\propto = \frac{P_\propto^2}{2M_\propto} \quad \text{..... (2)}$$

وبقسمة (1) على (2) نحصل على

$$\frac{T_D}{T_\propto} = \frac{M_\propto}{M_D} \quad \text{..... (3)}$$

$$\therefore T_D = \frac{M_\alpha}{M_D}T_\alpha \quad \text{or} \quad T_\alpha = \frac{M_D}{M_\alpha}T_D$$

ان المقدار Q_α يسمى طاقة تحلل (α) وهي تمثل مجموع الطاقة الحركية لجسيمة α ، T_α ، والطاقة الحركية للنواة البنت T_D ، اي ان :

$$Q_\propto = T_\propto + T_D \quad \text{..... (4)}$$

نعوض عن قيمة T_D من معادلة (3) في (4) فينتج :

$$Q_{\propto o} = T_\propto + \frac{M_\propto}{M_D}T_\propto = \frac{M_D+M_\propto}{M_D}T_\propto \quad \text{..... (5)}$$

وبتقريب الكتل واعتبارها مساوية عدديا للعدد الكتلي فيمكن كتابة المعادلة (5) كالاتي:

$$Q_{\propto o} = \frac{A}{A-4}T_\propto \quad \text{..... (6)} \qquad T_\propto = \frac{A-4}{A}Q_{\propto o}$$

ان منشأ (Q_α) هو فرق الكتل بين النواة الام والنواة البنت وجسيمة الفا ، اي ان :

$$Q_\alpha = [M_P-(M_D+M_\alpha)]C^2$$

$$\therefore Q_\propto = 931.5\{M(A,Z) - M(A-4,Z-2) - M_\propto\} \quad \text{..... (7)}$$

$$\therefore Q_\propto = -S_\propto$$

*واجب / اشتق العلاقة التي تربط الطاقة الحركية للنواة الوليدة T_D مع طاقة انحلال الفا $Q_{\propto o}$ ؟

ملاحظة : إذا كانت $Q_{\propto o}$ موجبة فان النواة الام تعتبر من النوى الباعثة لجسيمات α تلقائيا ، واذا كانت سالبة فان النواة الام لا يمكنها ان تبعث α تلقائيا .

مثال/إذا كانت كتلة الراديوم $^{224}_{88}Ra$ تساوي 224.020217 u وكتلة الرادون $^{220}_{86}Rn$ تساوي 220.011401 u ،وكتلة جسيمة الفا $(^4_2He) \propto$ تساوي 4.002603 u ، احسب T_D , T_α ؟

الحل / نحسب اولا $Q_{\alpha o}$

$$Q_{\alpha o} = 931.5 \left[M\left(^{224}_{88}Ra\right) - M\left(^{220}_{86}Rn\right) - M\left(^4_2He\right)\right]$$

$$\therefore Q_{\alpha o}\left(^{224}_{88}Ra\right) = 931.5(224.020218 - 220.0114 - 4.002603)$$

$$= 5.788 \text{ MeV}$$

$$\therefore T_\alpha = \frac{A-4}{A} Q_{\alpha o} = \frac{220}{224} \times 5.788 = 5.685 \text{ MeV}$$

$T_D + T_\alpha = Q_{\alpha o} \rightarrow T_D = 5.788 - 5.685 = 0.103$ MeV

$T_D = \frac{4}{A} Q_\alpha = \frac{4}{224} \times 5.788 = 0.103$ MeV

❖ **مخطط الانحلال :**

يتم التعبير عن العمليات الانحلالية وخصائص النظائر المشعة باستعمال مخططات توضيحية تسمى مخططات الانحلال وتتكون هذه المخططات من الاجزاء التالية :

1-خط افقي تدون عليه المعلومات وهي :

أ. الرمز الكيميائي للنويدة المنحلة .

ب. عدد الكتلة للنويدة المنحلة .

ت. عمر النصف للنويدة المنحلة .

2-سهم ينطلق باتجاه الاسفل بوضع مائل نحو اليسار او اليمين او يكون عموديا بصورة متموجة وعلى النحو الاتي :

أ. عندما يكون الانحلال باشعة بيتا الموجبة (البوزترون B^+) او اشعة الفا او الانحلال بالاسر الالكتروني فان السهم يتجه بصورة مائلة نحو اليسار .

ب. عندما يكون الانحلال باشعة بيتا السالبة فان السهم يتجه بصورة مائلة نحو اليمين .

ت. عندما يكون الانحلال باشعة كاما فان السهم يتجه عموديا نحو الاسفل وبصورة متموجة .

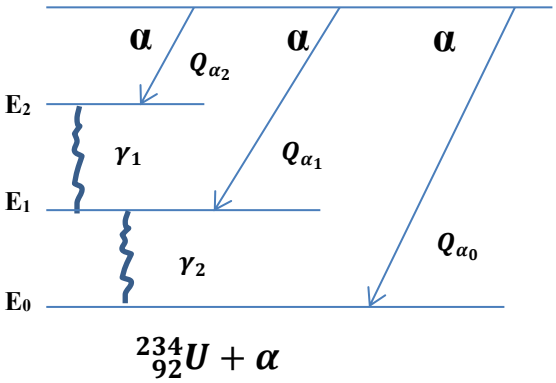
وفي جميع هذه الحالات ينتهي السهم عند خط افقي اخر يمثل مستوى طاقة النويدة الوليدة .

3-توضع معلومات طاقة الانحلال ونوع الانحلال فضلا عن نسبة الانحلال والنويدات المنحلة والمتكونة على الخط الافقي والاسهم .

***مخطط انحلال α :**

لتوضيح انحلال α ناخذ المثال الاتي :

بلوتونيوم $^{238}_{94}Pu\,,t_{1/2}=77Y$



$^{234}_{92}U+\alpha$

عند دراسة طيف الطاقة لجسيمات α نلاحظ ان هذا الطيف هو طيف خطي لانه ناتج عن تحول نواة متهيجة من مستو معين الى مستو آخر وتكون النواة الناتجة من الانحلال متهيجة تعود الى الحالة الارضية ببعث اشعة كاما .

$E_n=Q_o-Q_n$ n=1,2,3,4, ….

❖ **الطيف الطاقي لجسيم الفا :**

ان طيف الطاقة energy spectrum لجسيمات (α) هو طيف خطي لانه ناتج عن تحول نواة متهيجة من مستو معين الى مستو آخر ، وكذلك الحال لعمليات من هذا النوع كما في تحلل كاما .

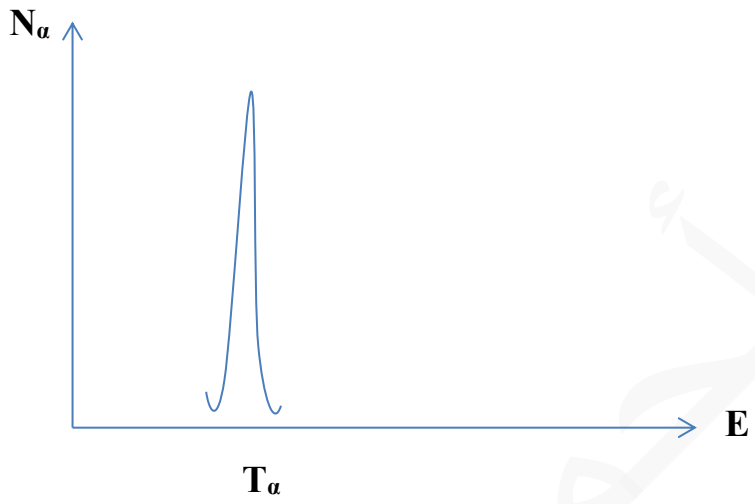
واذا رجعنا الى المعادلة التي تربط طاقة انحلال (α) بطاقتها الحركية :

$T_\alpha=\frac{A-4}{A}Q_\alpha$

وبما ان قيم A للنواة الام تكون كبيرة ، لذلك فان نسبة $\frac{A-4}{A}$ تكون مساوية تقريبا الى الواحد اي ان :

$$\frac{A-4}{A}=1$$

اي ان معظم طاقة الانحلال تكون كطاقة حركية لجسيمة (α)، لذلك فانه بانبعاث جسيمين من نواة غير مستقرة ساكنة ابتداءاً فان جسيمة (α) تنبعث بطاقة محددة ويقال عنها بانها احادية الطاقة لذلك فان الطيف الطاقي لها يكون طيفا خطيا . وكما موضح بالشكل:



ثانياً : تحلل بيتا Beta – Decay :

هناك ثلاثة انواع من تحلل بيتا هي :

1- تحلل بيتا السالبة β^--decay : وينتج هذا التحلل عن تحول نيوترون (n) الى بروتون (p) مصحوبا بانبعاث الكترون e^-(β^-) . حيث :

$$n \rightarrow P + \beta^- + \nu^-$$

ex/ $^{64}_{29}Cu \rightarrow {}^{64}_{30}Zn + \beta^- + \upsilon^- + Q_{\beta^-}$

وبشكل عام فان $^{A}_{Z}X_N \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y_{N-1} + \beta^- + \upsilon^- + Q_{\beta^-}$

2-تحلل بيتا الموجبة β^+ decay - : وينتج عن تحول بروتون (p) داخل النواة الى نيوترون (n) وانبعاث β^+ (بوزيرون e^+):

$$p \rightarrow n + \beta^+ + \upsilon + Q_{\beta^+}$$

ex/ $^{14}_{8}O_6 \rightarrow {}^{14}_{7}N_7 + \beta^+ + \upsilon + Q_{\beta^+}$

وبشكل عام فان $^{A}_{Z}X_N \rightarrow {}_{Z-1}{}^{A}Y_{N+1} + \beta^+ + \upsilon + Q_{\beta^+}$

3- أسر الالكترون (e.c) electron capture : وهو اقتناص احد الالكترونات الداخلية (من القشرة k = المدار الاول) من قبل النواة المتهيجة ليتحد مع احد بروتوناتها ليكون n ، اي ان :

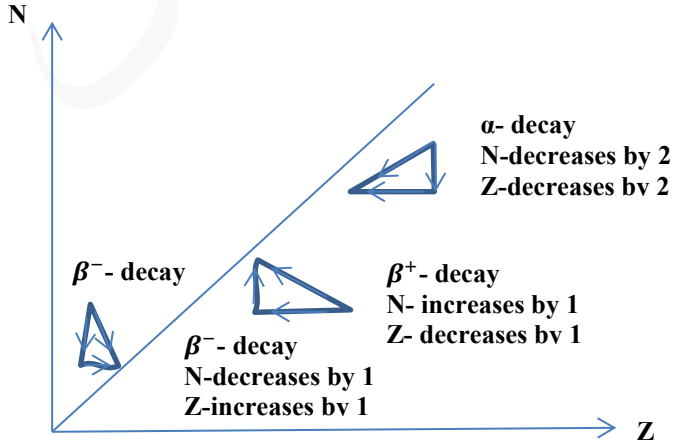
$$P + e^- \rightarrow n + \upsilon$$

ex/ $^{64}_{29}Cu + e^- \rightarrow {}^{64}_{28}Ni + \upsilon + Q_{e.c}$

$^{A}_{Z}X_N + e^- \rightarrow {}_{Z-1}{}^{A}Y_{N+1} + \upsilon + Q_{e.c}$

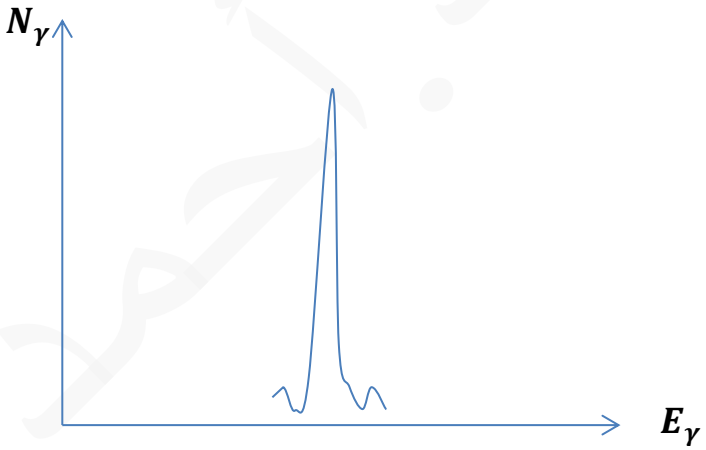
❖ <u>فرضية النيوترينو :</u>

ان الاضمحلال بانبعاث بيتا β هو احد اكثر الاضمحلالات شيوعا حيث ان بعض النوى المتهيجة التي تقع يمين او يسار خط الاستقرار للنوى تضمحل بانبعاث بيتا .



ان اولى المشاهدات العملية لاضمحلال بيتا (β) قد بينت ان هذه العملية تبدو انها لا تتفق مع قوانين حفظ الطاقة والزخم الخطي والزخم الزاوي وكما يلي:

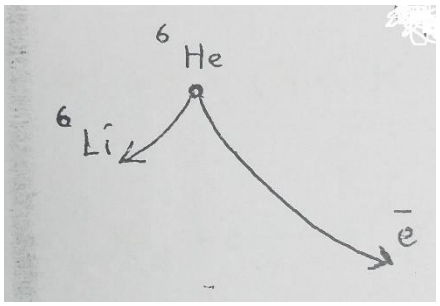
1-ان اضمحلال (β) كان يفهم انه عملية تتضمن كتلتين (النواة الام والنواة الوليدة) لذلك فمن المتوقع ان يكون طيف جسيمات β طيفا خطيا كما هي الحالة في اضمحلال – α ، γ . لكن في الواقع ان طيف β الملاحظ هو طيف مستمر كما في الشكل ادناه :



طيف ـ

ووجود الطيف المستمر يدل أن على جسيمة بيتا لم تنتج في عملية تؤدي الى جسيمين انما في عملية ادت الى ثلاث جسيمات تنقسم الطاقة المتوفرة لها بأية نسبة كانت للحفاظ على تطبيق قانون حفظ الطاقة.

2-وجد ان الزخم الخطي غير محفوظ في هذا الاضمحلال ، فقد صورت نواتج تحلل $^6_2He_4$ الساكنة الى $^6_3Li^+_3$ و β^- وكانت الصورة كالمبينة ادناه :



ومن الواضح ان محصلة الزخم الخطي للجسيمين $^{6}_{3}Li^{+}_{3}$ و β^{-} لا تساوي صفر ، في حين يجب ان تساوي صفر لان $^{6}_{2}He_{4}$ قد تحللت وهي ساكنة مما يعني ان زخمها الخطي كان صفراً ، ولازالة هذا التناقض اقترح باولي ان هناك جسيمة اخرى غير مشحونة كتلتها صغيرة جدا وبرمها يساوي $\frac{1}{2}$ ، تنبعث مع جسيمة β اثناء الاضمحلال سميت نيوترينو neutrino ، وفي هذه الحالة يأخذ النيوترينو جزءا من الزخم ليتعادل بذلك الزخم الخطي .

3-من المعلوم ان $S_e=S_p=S_n=\frac{1}{2}$ ، فعليه فان الزخم الزاوي في المعادلتين :

$$^{1}_{0}n \rightarrow ^{1}_{1}p + ^{0}_{-1}\beta^{-} \quad , \quad ^{1}_{1}p \rightarrow ^{1}_{0}n + ^{0}_{+1}\beta^{+}$$

سيكون غير محفوظ . فعليه فبوجود النيوترينو او ضديدها والتي افترض ان زخمها الزاوي يساوي $\frac{1}{2}$ ، يمكن حفظ الزخم الزاوي لعملية تحلل β . فمثلا لو اخذنا التفاعل الاتي:

$$^{3}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He + e^{-}$$

فانه لا يتفق مع قانون حفظ الزخم الزاوي بالنسبة للنواة الام ونواتج الاضمحلال .

❖ <u>خواص النيوترينو :</u>

1-جسيم عديم الشحنة .

2-صغير الكتلة السكونية $m_{\upsilon} \cong 0$.

3-يسير بسرعة مقاربة لسرعة الضوء .

4-العزم المغناطيسي له يساوي صفر .

5-ضعيف التفاعل مع المادة لانه متعادل كهربائيا ولا يحمل مجالا مغناطيسيا .

6-لديه القابلية العالية على اختراق المواد .

7-وجد ان هناك نوعان من النيوترينو هما النيوترينو ν وضديد النيوترينو $\overline{\upsilon}$ anti neutrino

❖ **طاقة تحلل بيتا Q_β :**

هي الطاقة التي تتحرر عند حدوث تحلل بيتا ، وهي تمثل مجموع الطاقات الحركية للنواة البنت T_D والتي تهمل عادة ، ولجسيمة بيتا T_β ، وللنيوترينو T_υ .

1-بيتا السالبة β^-:

$$Q_{\beta^-} = T_{\beta^-} + T_{\upsilon^-} + T_D \cong T_{\beta^-} + T_{\upsilon^-} \quad \text{.....(1)}$$

ومصدر Q_β هو تحول فرق الكتلة الى طاقة فبدلالة كتل النوى :

$$M_N(A,Z) \rightarrow M_N(A,Z+1) + \beta^- + \upsilon^- + Q_{\beta^-}$$

وباضافة Zm_e للتعبير عن الكتل بدلالة الكتل الذرية فنحصل على :

$$M_N(A,Z) + Zm_e \rightarrow M_N(A,Z+1) + Zm_e + m_e + \bar{\upsilon} + Q_{\beta^-}$$

$$\therefore Q_{\beta_0^-} = 931.5[M(A,Z) - M(A,Z+1)] = T_{\beta^-} + T_{\upsilon^-}$$

ملاحظة / إذا كانت $Q_{\beta_0^-}(A,Z)$ موجبة فان النواة تضمحل بانبعاث β^- تلقائيا . واذا كانت $Q_{\beta_0^-}(A,Z)$ سالبة فان النواة الام لا يمكنها ان تضمحل بانبعاث β^- تلقائيا.

2-بيتا الموجبة β^+:

$$M_N(A,Z) \rightarrow M_N(A,Z-1) + \beta^+ + \upsilon + Q_{\beta^+}$$

وباضافة Zm_e للطرفين للتعبير عن Q_{β^+} بدلالة كتل الذرات نحصل على :

$$M_N(A,Z) + Zm_e \rightarrow M_N(A,Z-1) + Zm_e + m_e + \upsilon + Q_{\beta^+}$$

$$\therefore Q_{\beta_0^+} = 931.5[M_A(A,Z) - M_A(A,Z-1) - 2me] = T_{\beta^+} + T_\upsilon$$

إذا كانت $Q_{\beta_0^+}$ موجبة فان النواة الام تضمحل بانبعاث β^+ تلقائيا . واذا كانت $Q_{\beta_0^+}$ سالبة فان النواة الام لا تضمحل بانبعاث β^+ تلقائيا .

3-الاسر الالكتروني e.c :

$$M_N(A,Z)+m_e \rightarrow M_N(A,Z-1) + \upsilon + Q_{e.c}$$

وباضافة Zm_e للطرفين للتعبير عن $Q_{e.c}$ بدلالة كتل الذرات نحصل على :

$$M_N(A,Z)+m_e+Zm_e \rightarrow M_N(A,Z-1) + Zm_e + \upsilon + Q_{e.c}$$

$$\therefore Q_{e.c} = 931.5[M_A(A,Z) - M_A(A,Z-1)] = T_D + T_\upsilon \cong T_\upsilon$$

إذا كانت $Q_{e.c}(A,Z)$ موجبة فان النواة الام يمكنها ان تضمحل بأسر الكترون واذا كانت سالبة لا يمكن ذلك.

ملاحظة /

$$Q_{e.c}(A,Z) - Q_{\beta^+}(A,Z) = 931.5 \times 2me = 1.022\ MeV$$
$$\therefore Q_{e.c} = Q_{\beta^+}(A,Z) + 1.022\ MeV$$

هذا يعني انه إذا كان انبعاث β^+ ممكنا فان الاسر الالكتروني ممكن أيضاً ولكن العكس غير صحيح الا إذا كانت :

$$Q_{e.c}(A,Z) > 1.022\ MeV$$

❖ **<u>انماط الاضمحلال بانبعاث بيتا :</u>**

1-بالنسبة للشحنة : تحلل بيتا السالبة $\beta^- - docy$ وتحلل بيتا الموجبة β^+

2-بالنسبة لمحصلة $\overrightarrow{S_\upsilon}, \overrightarrow{S_\beta}$ فاذا كان :

أ. $\overrightarrow{S_\upsilon} + \overrightarrow{S_\beta} = 0$ **اي ان اتجاه الزخم البرمي لجسيمة بيتا معاكس لاتجاه الزخم البرمي للنيوترينو فمحصلتهما تساوي صفر ، ويسمى التحلل في هذه الحالة بتحلل فيرمي (Fermi decay) .**

ب. اذا كان $\overrightarrow{S_v} + \overrightarrow{S_\beta} = 1$ اي ان اتجاه الزخم البرمي لجسيمة بيتا بنفس اتجاه الزخم البرمي للنيوترينو ، فيسمى التحلل في هذه الحالة بتحلل كامو– تلر (Gamow –Teller) G.T .

3–بالنسبة لقيمة $\overrightarrow{L_\beta}$ الزخم الزاوي المداري لجسيم بيتا والنيوترينو فتحدد الانتقالات كما يلي :

أ. إذا كان $L_\beta = 0$ فالتحلل يسمى بالتحلل المسموح allowed .

ب. إذا كان $L_\beta = 1$ فالتحلل يسمى بالتحلل غير المسموح الاول 1st forbidden.

ت. إذا كان $L_\beta = 2$ فالتحلل يسمى بالتحلل غير المسموح الثاني 2nd forbidden.

كما ان الزخم الكلي يساوي $\overrightarrow{J_\beta} = \overrightarrow{L_\beta} + \overrightarrow{S_\beta}$

ومن قانون حفظ الزخم الزاوي فان ← $\overrightarrow{J_p} = \overrightarrow{J_D} + \overrightarrow{J_\beta}$

كذلك فانه ومن حفظ التماثل فان ← $\pi_\beta = \pi_p . \pi_D \ , \pi_\beta = (-)^{L\beta}$

❖ <u>كيفية حل مسائل تصنيف تحلل بيتا :</u>

1–نحدد قيمة L_β بضرب تناظر النواة الام وتناظر النواة البنت :

$\pi_p . \pi_D = (-)^{L\beta} \rightarrow L_\beta = \cdots$

Ex/ $\begin{matrix} 7^- \\ 1^+ \end{matrix}$ …… $\rightarrow \pi_p . \pi_D = -.+= -= (-1)^{L\beta} \rightarrow L_\beta = 1, 3, 5, \ldots.$

$\begin{matrix} \frac{1}{2}^+ \\ \frac{1}{2}^+ \end{matrix}$ …… $\rightarrow \pi_p . \pi_D = +.+= += (-1)^{L\beta} \rightarrow L_\beta = 0, 2, 4, \ldots.$

2–نجد قيمة الزخم الكلي لبيتا (J_β) من المعادلة $|J_p - J_D| \leq J_\beta \leq J_p + J_D$

3-نحدد قيمة $\overrightarrow{S_\beta}$ فاذا كانت تساوي صفر (فهو تحلل فيرمي) او انها تساوي 1 (فهو تحلل G.T)

مثال / صنف تحلل بيتا للانحلال الاتي :

$$^{14}_{8}O_6(o^+) \rightarrow {}^{14}_{7}N_7(O^+) + \beta^+ + \upsilon$$

$$\pi_p.\pi_D = +.+= += (-)^{L_\beta} \rightarrow L_\beta = 0,2$$

$|J_p-J_D| \leq J \leq (J_p+J_D)$

$|0-0| \leq J_\beta \leq (0+0) \rightarrow J_\beta = 0$

الاكثر احتمالا

$$J_\beta = L_\beta + S_\beta \rightarrow 0 = 0 + \delta_\beta \rightarrow \delta_\beta = 0$$

$J_\beta = 2 + S_\beta \rightarrow S_\beta = -2$ غير ممكن

اذن التحلل من نوع Fermi ، allowed

مثال/

$$n\left(\frac{1^+}{2}\right) \rightarrow p\left(\frac{1^+}{2}\right) + \beta^+ + \upsilon$$

$$\pi_p.\pi_D = (+).(+) = += (-1)^{L_\beta} \Longrightarrow L_\beta = 0,2$$

$$\left|\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\right| \leq J_\beta \leq \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\right) \rightarrow J_\beta = 0,1$$

$$J_\beta = L_\beta + S_\beta \rightarrow 0 = 0 + \delta_\beta \rightarrow \delta_\beta = 0$$

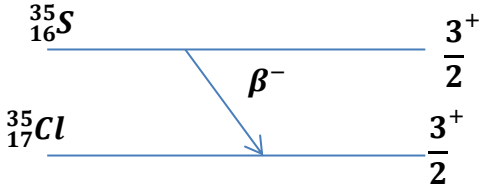
$0 = 2 + S_\beta \rightarrow S_\beta = -2$ غير ممكن

$1 = 0 + S_\beta \rightarrow S_\beta = 1$ ممكن

$1 = 2 + S_\beta \rightarrow S_\beta = -1$ غير ممكن

اذن الانحلال الاكثر احتمالا allowed Fermi +allowed G.T (mixed)

مثالا /



$\pi_p . \pi_D = +.+= +=(-)^{L\beta} \rightarrow L_\beta = 0,2$

$\left|\frac{3}{2}-\frac{3}{2}\right| \leq J_\beta \leq \left(\frac{3}{2}+\frac{3}{2}\right) \rightarrow J_\beta = 0,1,2,3$

$J_\beta = L_\beta + S_\beta \rightarrow S_\beta = J_\beta - L_\beta =$ 0-0=0 ممكن allowed –F

$= 0-2 = -2$ غير ممكن

$= 1-0 = 1$ ممكن allowed G.T

$= 1-2 = -1$ غير ممكن

$= 2-0 = 2$ غير ممكن

$= 2-2 = 0$ ممكن 2^{nd} forbidden -F

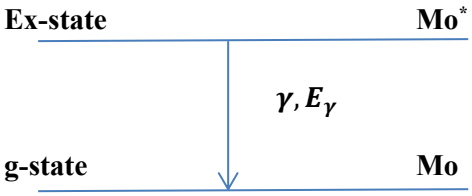
$= 3-0 = 3$ غير ممكن

$= 3-2 = 1$ ممكن 2^{nd} forbidden - G.T

ثالثاً : التحلل بانبعاث اشعة كاما Gamma Decay :

ان التحلل بانبعاث اشعة كاما هو عملية انبعاث اشعة كهرومغناطيسية من النواة عند انتقالها من حالة متهيجة الى حالة اخرى اقل تهيجا او الى الحالة الارضية .

فاذا افترضنا ان نواة متهيجة كتلتها السكونية M_o^* تبعث اشعة كاما وتتحول الى المستوى الارضي لتكون النواة الوليدة والتي كتلتها M_o كما في الشكل المجاور :



وبتطبيق قانون حفظ الزخم الخطي نجد ان :

$$0 = \overrightarrow{P_\gamma} + \overrightarrow{P_D} \rightarrow \overrightarrow{P_\gamma} = \overrightarrow{P_D} \quad \ldots\ldots\ldots(1)$$

حيث :

$\overrightarrow{P_\gamma}$: زخم فوتون اشعة كاما

$\overrightarrow{P_D}$: زخم النواة الوليدة (المرتدة) في حالتها النهائية وتساوي $M_o V_D$

حيث $\overrightarrow{V_D}$: سرعة النواة المرتدة .

ومن قانون حفظ الطاقة نجد ان :

$$931.5\ M_o^* = 931.5\ M_o + E_\gamma + T_D \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

حيث :

E_γ : طاقة اشعة كاما المنبعثة .

T_D : الطاقة الحركية للنواة المرتدة في حالتها النهائية وتساوي $M_o V_D^2 \frac{1}{2}$

ويعبر عن طاقة اضمحلال γ بالمقدار (Q_γ) على انها تساوي :

$$Q_\gamma = E_\gamma + T_D \text{ ..... (3)}$$

$$Q_\gamma = 931.5(M_o{}^* - M_o) \quad \text{.....(4)}$$

وحيث ان :

$$P_\gamma = P_D \quad , T_D = \frac{P_D^2}{2M_o}$$

$$\therefore T_D = \frac{P_D^2}{2M_o} = \frac{P_\gamma^2 C^2}{2M_o C^2} = \frac{E_\gamma^2}{2M_o C^2} \text{ ..... (5)} \quad \text{اذن}$$

ملاحظة / اعتبرنا هنا ان $E_\gamma = P_\gamma C$ لان الكتلة السكونية لفوتونات أشعة كاما تساوي صفراً ، وبذلك نحصل على العلاقة الاتية :

$E^2=P^2C^2+ m_\gamma^2 c^4 \rightarrow E=Pc$

ملاحظة/ يمكن اهمال T_D من المعادلة (3) لصغر قيمتها وكما موضح في المثال الاتي:
نفرض ان E_γ =2MeV و M_o=50 amu ، فانه يمكن حساب طاقة الارتداد للنواة T_D من العلاقة (5) وكالاتي :

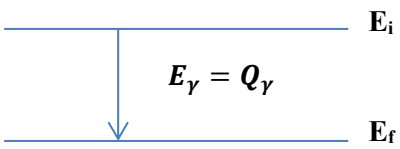
$$T_D = \frac{E_\gamma^2}{2\times 50\times 931.5} = 43\ e.v$$

وهي كمية قليلة تهمل عادة للاغراض العملية وعند قيم طاقات كاما الواطئة اما لقيم عالية لطاقة اشعة كاما فيؤخذ الارتداد بنظر الاعتبار . لذلك ومن المعادلات (3) ، (4) نحصل على :

$$Q_\gamma = E_\gamma = 931.5(M_o^* - M_o) \quad \text{.....(6)}$$

وحيث ان $931.5M_o^*$ تمثل طاقة المستوى الابتدائي E_i

$931.5\ M_o$ تمثل طاقة المستوى النهائية E_f



$$\therefore Q_\gamma = E_\gamma = E_i - E_f$$

❖ **عزوم متعددات الاقطاب النووية Nuclear multipole moments :**

تمتلك النواة بسبب شحنتها الموجبة وعدم كرويتها وترتيبها بكيفيات معينة عزوم كهربائية متعددة الاقطاب Electric multiple moments وتتوقف مرتبة العزم الكهربائي على قيمة الزخم الزاوي المداري L ، وتساوي 2^L (اي عدد الاقطاب) فاذا كان :

L=1 → $2^L=2^1=2$ → 2 poles → electric dipole moment (E1)

L=2 → $2^L=2^2=4$ → 4 poles → electric quadrapole moment (E2)

L=3 → $2^L=2^3=8$ → 8 poles → electric octapole moment (E3)

وبسبب اهتزاز الشحنات تنبعث اشعة كهرومغناطيسية تسمى اشعة متعدد الاقطاب الكهربائية.

كما وقد يحدث ان تدور الشحنات في مسارات مغلقة loops ، وينتج عن ذلك عزوم متعددات الاقطاب المغناطيسية magnetic multiple moments وتتوقف مرتبة هذه العزوم أيضاً على قيمة L ، فاذا كان :

L=1 → $2^L=2^1=2$ → 2 poles → magnetic dipole moment =(M1)

L=2 → $2^L=2^2=4$ → 4 poles → magnetic quadrapole moment =(M2)

L=3 → $2^L=2^3=8$ → 8 poles → magnetic octapole moment =(M3)

والاشعة الناتجة عن ذلك تسمى اشعة متعدد الاقطاب المغناطيسية .

ملاحظة مهمة: ان احتمالية انبعاث اشعة متعدد الاقطاب الكهربائية تكون اكبر من احتمالية انبعاث اشعة متعدد الاقطاب المغناطيسية ولنفس القيمة لـ (L) . اي ان :

E1 > M1 , E2 > M2 , E3 > M3

وأيضاً :

شدة E1 < شدة E2 < شدة E3 , شدة M1 < شدة M2 < شدة M3

ملاحظة/ بالنسبة لاحتمالات كاما (γ) يؤخذ بنظر الاعتبار فقط تلك الانتقالات التي لها قيم (L) واطئة .

قد يكون الانتقال مزيجا من M1 , E2 او M2 , E3 اما في حالة E1 , M2 فان الانتقال يكون في الاغلب E1 مع نسبة صغيرة جدا من M2 وذلك لان :

E1 >E2

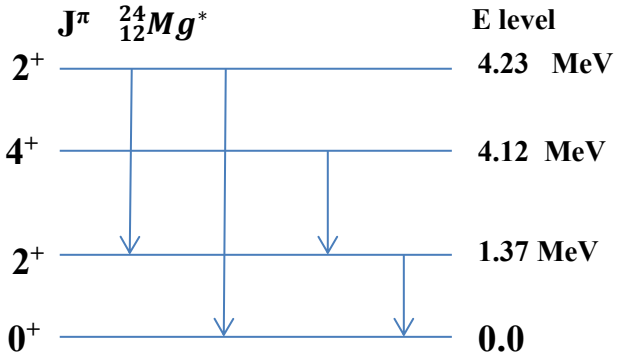
E2 >M2 → E1 >>M2

❖ **النواة المتهيجة Excited nucleus ، ومستويات الطاقة energy level والحالات المتهيجة excited states :**

نفرض ان $^{A}_{Z}X$ نواة في المستوى الارضي ground state

$^{A}_{Z}X^{*}$ نواة متهيجة (اي انها نواة في مستوى طاقة أعلى من المستوى الارضي) .

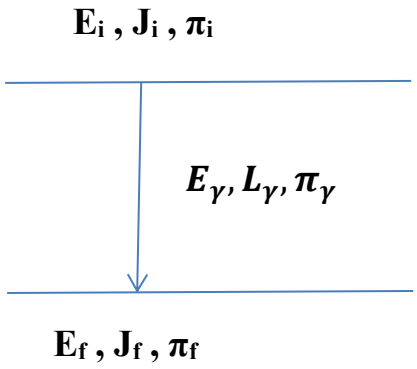
ان مستويات الطاقة لنواة معينة هي الحالات المتهيجة للنواة (ولكل نواة مستويات طاقة خاصة بها) ولكل مستوى من مستويات الطاقة له طاقة معينة وزخم زاوي معين J ، وتماثل محدد π ، والشكل ادناه يوضح بعض مستويات الطاقة للنواة $(^{24}_{12}Mg)$.



❖ **قواعد الانتقاء (الاختيار) لانبعاث اشعة كاما selection rules for $\gamma - decay$:**

هي الشروط الواجب تحققها لكي تنبعث اشعة كاما وهي تشمل :

1-قانون حفظ الطاقة :



لانبعاث اشعة كاما يجب ان تنتقل النواة من مستو عالي الطاقة الى مستو واطئ الطاقة ، وطاقة اشعة كاما E_γ تساوي تقريبا الفرق بين طاقتي المستويين لان الطاقة الحركية للنواة البنت قليلة وتهمل عادة مقارنة بـ (E_γ).

$$Q_\gamma = E_i - E_f = 931.5(M^* - M) = E_\gamma + T_M = E_\gamma$$

2-قانون حفظ الزخم الزاوي :

إذا كان الزخم الزاوي للنواة الام هو J_i ، وللنواة البنت هو J_f والزخم الزاوي المداري للفوتون L_γ ، فان :

$$\overrightarrow{J_i} = \overrightarrow{J_f} + \overrightarrow{L_\gamma}$$

حيث ان L_γ تأخذ القيم :

$$|J_i - J_f| \leq L_\gamma \leq J_i + J_f$$

3-قانون حفظ التماثل (parity):

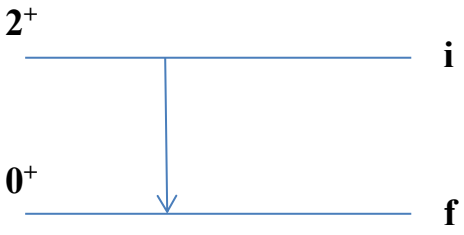
1) $\pi_i \cdot \pi_f = (-1)^L$ for electric radiation (EL)

2) $\pi_i \cdot \pi_f = (-1)^{L+1}$ for magnetic radiation (ML)

امثلة

مثال 1/ حدد الانتقالات الاكثر احتمالا لانبعاث اشعة كاما للانبعاثات الاتية :

1)



الحل/

$J_i=2$, $\pi_i=+$

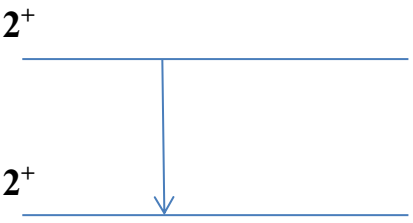
$J_f=0$, $\pi_f=+$

$|2-0| \leq L_\gamma \leq (2+0) \rightarrow L_\gamma = 2$

$\pi_\gamma = \pi_i + \pi_f = (-1)^L$

$= +.+ = (-1)^L \rightarrow L=2 \rightarrow$ E2 transition

2)



$J_i=2$, $\pi_i=+$

$J_f=2$, $\pi_f=+$

$|J_i-J_f| \leq L \leq (J_i+J_f) \rightarrow |2-2| \leq L \leq (2+2) \rightarrow L = 0 , 1 , 2 , 3 , 4$

$\pi_\gamma = \pi_i + \pi_f = (-1)^L \rightarrow L=2,4$ بالنسبة للاشعاع الكهربائي

E2 , E4 → E2

$\pi_\gamma = \pi_i + \pi_f = (-1)^{L+1} \rightarrow L=1,3$ بالنسبة للاشعاع المغناطيسي

M1 , M3 → M1

اذن الانتقال هو مزيج من E2+M1

❖ **التحول الداخلي Internal Conversion :**

كما اوضحنا سابقا فان النواة المثارة تفقد طاقتها ببعث اشعة كاما ، لكن في بعض الحالات يكون فقدان هذه الطاقة بطريقة غير انبعاث اشعة كاما ، ولكن باعطاء جزء من هذه الطاقة الى احد الالكترونات في المدار الذري الخارجي (K مثلا او L أو M) ، ليسبب بعدها انبعاث الالكترون من مداره وتتحول النواة نفسها الى مستوى طاقة ادنى ويسمى الالكترون المقذوف بالكترون التحول (Conversion electron) كما وتسمى العملية بالتحول الداخلي Internal conversion وتحسب الطاقة الحركية للالكترون المتحرر من المعادلة التالية :

$$T_e = E_\gamma - B_e = E_i - E_f - B_e$$

حيث E_γ : طاقة اشعة كاما الخارجة من النواة

B_e :طاقة ترابط الالكترونات

ان انطلاق هذه الالكترونات يترك فراغا في المدار الذي كان فيه ، فاذا انطلق الالكترون من المدار k مثلا ، فهناك الكترون من المدار L سوف يهبط الى المدار K ليملأ الفراغ مؤديا لانبعاث اشعة سينية طاقتها تساوي الفرق بين طاقتي الالكترون في المدار L , K

❖ **المتسلسلات النشطة اشعاعياً :**

وهي نوى ثقيلة تنحل الى نوى وليدة هي بدورها نوى مشعة تنحل الى نوى اخرى نشطة اشعاعيا ، حيث تستمر هذه العملية لعدة اجيال حتى تستقر في النهاية الى نواة مستقرة ، حيث تنحل هذه النوى بانبعاث جسيمات ألفا وبيتا وكاما ، ففي انحلال الفا يتغير A باربع وحدات ويتغير Z بوحدتين ، وفي انحلال بيتا لا يتغير A على الاطلاق اما Z فيتغير بزيادة او نقصان وحدة واحدة حسب نوع الانحلال لبيتا. اما انحلال كاما فلا يتغير A, Z. ان جميع العناصر المشعة الثقيلة يمكن ان تتوزع على اربع سلاسل انحلال مستقلة بعضها عن بعض وتكون ذات اعداد كتلية هي 4n , 4n+1 , 4n+2 , 4n+3 ، حيث n عدد صحيح ويبين الجدول ادناه بعض مميزات سلاسل انحلال العناصر الثقيلة .

السلسلة	رمزها	العنصر الاطول عمرا	عمر النص (سنة)	النواة النهائية (المستقرة)
الثوريوم	4n	$^{232}_{90}Th$	14.1×10^{9} Y	الرصاص $^{208}_{82}Pb$
البنتونيوم	4n+1	$^{237}_{93}Np$	2.14×10^{6} Y	البزموث $^{209}_{83}Bi$
اليورانيوم	4n+2	$^{238}_{92}U$	4.47×10^{9} Y	الرصاص $^{206}_{82}Pb$
الاكتينيوم	4n+3	$^{235}_{92}U$	7.04×10^{8} Y	الرصاص $^{207}_{82}Pb$

ملاحظة/ ان سلسلة النيتونيوم (4n+1) لا يمكن ان تكون موجودة في الطبيعة ، وذلك لان العمر النصفي للعنصر الاطول عمرا فيها هو فقط 2.14×10^{6} سنة . ومن الممكن انتاج هذه السلسلة صناعيا بتشعيع $^{238}_{92}U$ بواسطة النيوترونات البطيئة حسب التفاعل الاتي :

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U^{*} \rightarrow ^{239}_{93}Np^{*} + \beta^{-}$$