مسائل على الباب الثالث

1 . في ضوء نموذج يوكاوا ، أوجد كتلة البايون.

2 . قارن بين قوة الجذب العام والقوة النووية بين البروتون والنيوترون في نواة الديوتيريوم.

الباب الرابع

النشاط الإشعاعي

1.4 النشاط الاشعاعي :

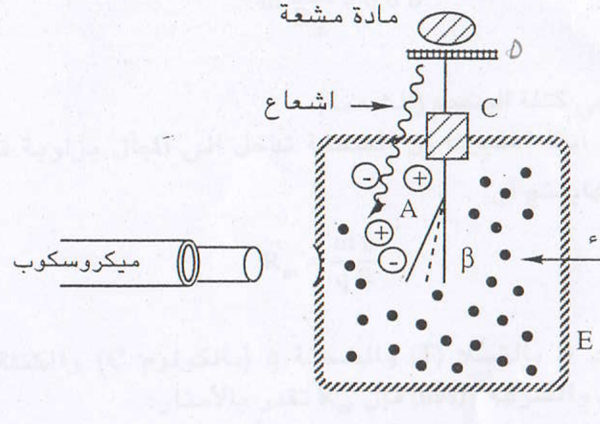
اكتشف النشاط الاشعاعي لبعض العناصر مصادفة وكان ذلك عام 1896م بواسطة بكريل Becquerel الذي كان يدرس أثر الفلورة fluorescence على الافلام الفوتوغرافية الحساسة فقد كان يلف المادة المتفلورة fluorescent في ورق اسود ثم يضعها فوق الفيلم الحساس في معزل عن الضوء . لقد اكتشف أن الافلام الحساسة قد تأثرت ثم عرف بعد ذلك أن هذا التأثر لا علاقة له بظاهرة الفلورة أو أشعة x التي اكتشفت عام 1895 اذ وجد أن جميع أملاح اليورانيوم تعطي نفس التأثير والتي لا تحدث بعضها فلورة .

ومن ثم وصل الى نتيجة مفادها أن هناك نوع من الاشعاع Radiation ينطلق من هذه المواد ويؤثر على الألواح الحساسة ثم اكتشف فيما بعد أن بعض المواد الطبيعية الأخرى كالراديوم تحدث تأثير مماثلاً . ومن ثم اطلق على هذه المواد (المواد المشعة) واطلق على الظاهرة نفسها النشاط الاشعاعي Radioactivity أو الفاعلية الاشعاعية .

كما اكتشف بكريل بعد ذلك أن هذا الاشعاع له المقدرة على تأيين الهواء كما تفعل اشعة x ـ وبالتالي استخدمت هذه الخاصية للكشف عن الاشعاع بدلاً من طريقة الكشف عنه باستخدام الافلام الحساسة .

استخدمت مدام كوري عام 1910 جهازاً كالمبين بالشكل (4 . 1) للكشف عن الاشعاع . حيث يتركب من وريقة رقيقة من الذهب (A) مثبتة الى قضيب معدني (B) يمر من خلال مادة عازلة (c) حيث يتصل بقرص معدني أخر (D) ويوضع القضيب المعدني والوريقة الذهبية داخل اناء به هواء (E) يطلق على هذا الجهاز الكشاف الكهربي ذوالورقة الذهبية . فإذا شحن الجهاز أولاً بإستخدام بطارية مثلاً فإن الوريقة الذهبية تتنافر مع الساق المعدني (B) وتبتعد عنه فإذا ما وضعت مادة مشعة فوق القرص (D) كما بالشكل فإن الاشعاع المنطلق سيسقط على الهواء الموجود حول الوريقة الذهبية ويقوم بتأينه وبالتالي ستتعادل

ن الساق المعدنية . ويمكن تتبع هذا الانفراج باستخدام ميكروسكوب ذي قوة تكبير صغيرة . لاحظ أن الانفراج يقل كلما زادت كمية المادة المشعة .

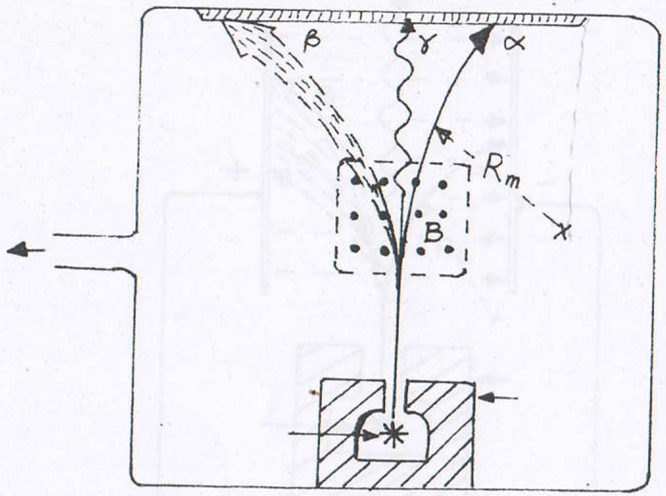


الشكل (4 . 1) الكشاف الكهربي ذو الورقة الذهبية .

باستخدام هذا الجهاز البسيط اثبتت مدام كوري أن الثوريوم هو ايضاً عنصر مشع كاليورانيوم كما استطاعت أن تكتشف العنصر الجديد البولونيوم عام 1898 .

2.4 انواع الاشعاع:

بعد أن تأكد انطلاق الاشعاع من المواد المشعة أجريت محاولات للتعرف على انواع الاشعة المنطلقة من المادة وتم ذلك بوضع قطعة من مادة مشعة كالراديوم أو الثوريوم في حفرة واقي رصاصي كما بالشكل (4 . 2) حيث يخرج الاشعاع من فتحة ضيقة ليخترق مجالاً مغناطيسياً (B) يتجه خارجاً من صفحة الكتاب نحو القارىء وبتطبيق قاعدة اليد اليسرى تجد أن الاشعاع الخارج من المادة المشعة قد أنقسم الى ثلاثة اقسام رئيسية: فبعض الاشعة اتجهت نحو اليمين والاخرى اتجهت نحو الشمال وثالثة لم تنحرف عن مسارها واستمرت في خط مستقيم. ويمكننا التحقق من ذلك بفحص اللوح الفوتوغرافي الحساس .



الشكل (4 . 2) تعيين أنواع الاشعاع المختلفة باستخدام المجال المغناطيسي

لاحظ أن انحراف الاشعة نحو الشمال أو اليمين يدل على أن هذه الاشعة هي عبارة عن جسيمات مشحونة. أما الاشعة التي لم تعاني انحرافاً فهي اشعاع كهرومغناطيسي. أما الاشعة المتجهة نحو اليمين فهي مشحونة بشحنة موجبة والمتجهة نحو الشمال فهي مشحونة بشحنة سالبة. وتعرف الأولى بجسيمات α أما الثانية فتعرف بجسيمات β^- أما الأشعاع الكهرومغناطيسي فهو عبارة عن اشعة γ .

عند فحص اللوح الفوتوغرافي تجد أن جسيمات α تحدث بقعة سوداء عند نقطة معينة على اللوح مما يدل على انها ذات طاقة محددة .أما جسيمات β فتحدث امتداداً من النقاط على اللوح مما يدل على انها ذات طاقات مختلفة تبدأمن الصفر حتى قيمة عظمى معينة (انظر اشعاع β) يعتمد مسار الجسيمات المشحونة على كل من شحنتها

α (line spectrum)
B (continous spectrum)

تتحرك شحنة q بسرعة قدرها υ في مجال مغناطيسي B فإنها تأخذ مساراً دائرياً بنصف قطر قدره R_m حيث:

$$m\frac{\upsilon^2}{R_m} = q\,\upsilon\,B \tag{1 . 4}$$

حيث

m هي كتلة الجسيم (الشحنة)

لاحظ هنا أننا اعتبرنا أن الشحنة تدخل الى المجال بزاوية قدرها 90° معه ومنهاينتج أن:

$$R_m = \frac{m\,\upsilon}{q\,B} \tag{2 . 4}$$

فإذا اخذت B بالتسلا (T) والشحنة q (بالكولوم C) والكتلة (m) بالكيلو جرام والسرعة (m/s) فإن R_m تقدر بالأمتار.

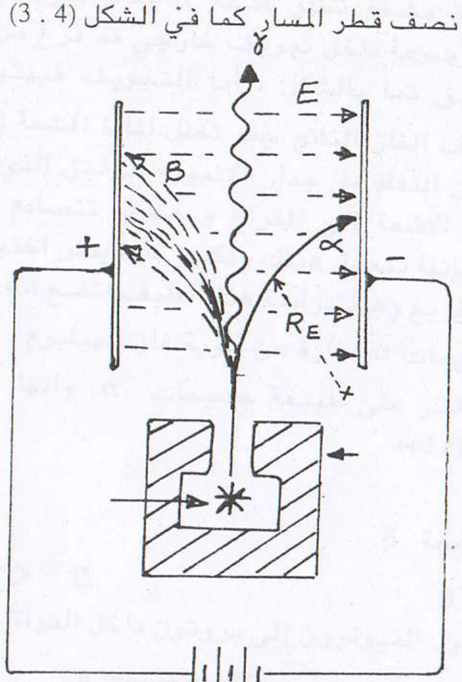
كما ويمكن استخدام المجال الكهربي ايضاً للتعرف على انواع الاشعاع المختلفة ويبين الشكل (3 . 4) ترتيباً عملياً لذلك فعندما يدخل الاشعاع إلى منطقة المجال الكهربي E فإن الجسيمات المشحونة تتجه كل نحو القطب المخالف لها في الشحنة ومن ثم تتحرك اشعة α نحو اليمين (القطب السالب) بينما جسيمات β المشحونة بالشحنة السالبة نحو اليسار (القطب الموجب). نلاحظ هنا أن جسيمات α تأخذ مساراً واحداً تقريباً وذلك لأنها جسيمات وحيدة الطاقة ، أما جسيمات β فتأخذ مسارات متصلة - تقريباً - وذلك لأن هناك توزيعاً لطاقة هذه الجسيمات (انظر اشعة β) حيث تأخذ طاقات مختلفة بدءاً بقيمة صغرى تساوي صفراً وانتهاءاً بطاقة عظمى معينة .أما اشعاع γ فيمر دون أن يعاني أي انحراف كما في حالة الحركة في المجال المغناطيسي.

ويمكن تعين نصف قطر مسار الشحنة في المجل الكهربي (E) حيث نجد أن :

$$m\frac{\upsilon^2}{R} = q\,E \tag{3 . 4}$$

حيث :

R_E هي نصف قطر المسار كما في الشكل (3 . 4)



الشكل (3 . 4) تعيين أنواع الاشعاع المختلفة باستخدام المجال الكهربي

ومن ثم فإن :

$$R_E = \frac{m\,\upsilon^2}{q\,E} \tag{4 . 4}$$

فإذا قدرت q بالكولوم ، m بالكيلوجرام و υ بالمتر/ث و E النيوتن/كولوم (فولت/متر) فإن R_E تقدر بالأمتار .

باستخدام معادلتي (2 . 4) ، (4 . 4) نجد أن :

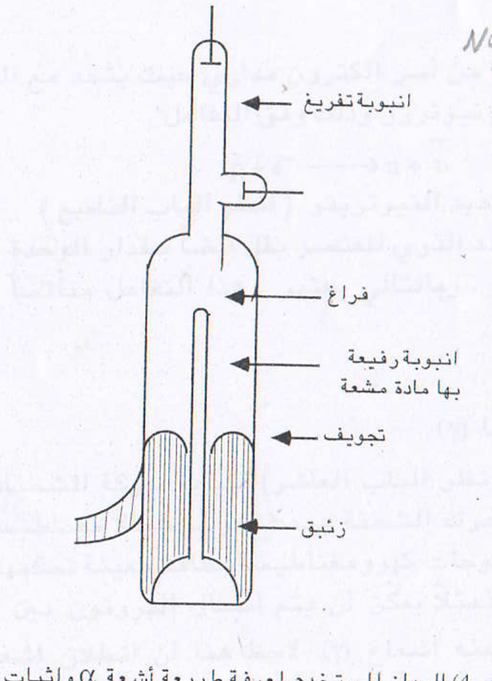
$$\frac{R_m}{R_E} = \frac{E}{B\upsilon} \tag{5 . 4}$$

فإذا عرفت قيمة كل من E ، B فإنه بقياس R_E, R_m يمكن تحديد υ وبالتالي معرفة طاقة الجسيمات الاشعاعية .

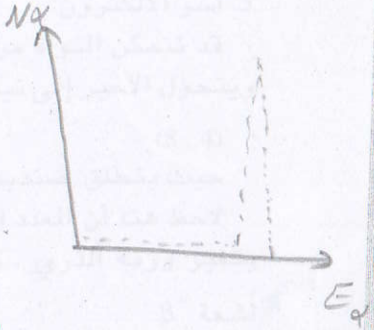
كما وانه بمعرفة υ يمكن معرفة النسبة $\left(\frac{m}{q}\right)$ أي النسبة بين الكتلة والشحنة . $\left(\frac{e}{m}\right)$

أولاً: جسيمات (α)

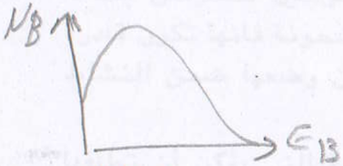
تنطلق جسيمات α من النواة وذلك بافتراض أنها تتكون من مجموعة من هذه الجسيمات (انظر الباب السادس). وعندما تثار النواة وذلك عندما توجد بها طاقة زائدة كما هو الحال في العناصر الواقعة بعد اليورانيوم والتي يطلق عليها عناصرها بعد اليورانيوم Transuranic Elements وبعض العناصر الأخرى المشعة طبيعياً أو المحضرة صناعياً، فإن جسيمات α تتمكن من اخترق حاجز كولوم والانطلاق خارج النواة فيما يعرف باشعاع α (انظر الباب الثامن).



الشكل (4 . 4) الجهاز المستخدم لمعرفة طبيعية أشعة α واثبات



ولمعرفة طبيعية اشعة α تم استخدام جهاز كالمبين بالشكل (4 . 4) حيث وضعت مادة مشعة تطلق اشعة α (كالراديوم مثلاً) في الانبوبة الرقيقة الموضوعة داخل تجويف خارجي قد فرغ من الهواء باستخدام خزان الزئبق كما بالشكل . أما التجويف فينتهي بانبوبة تفريغ لدراسة طيف الغاز الناتج .عند تحلل المادة المشعة تنطلق جسيمات α وتتمكن من النفاذ من جدار الانبوبة الرقيق الذي يسمح بذلك حيث تدخل هذه الاشعة الى الفراغ و عندما تتصادم مع جدار الانبوبة الخارجية فإنها تتعادل هناك وتكون غازاً يمكن اختبار طيفه باستخدام انبوبة التفريغ وعند دراسة هذا الطيف اتضح انه طيف غاز الهيليوم أي أن جسيمات α عبارة عن انوية غاز الهيليوم . وبالتالي يعتبر هذا اثبات مباشر على طبيعة جسيمات α. وانها مشحونة بشحنتين موجبتين ($+2e$).



ثانياً : أشعة β

1. أشعة β^-

أ. يتحول النيوترون إلى بروتون داخل النواة حسب التفاعل:

$$n \longrightarrow p + e^- + \bar{\upsilon} \qquad (6 . 4)$$

حيث

e^- هي β^- أي الالكترونات

antineutrino

$\bar{\upsilon}$ جسيم أولي يطلق عليه ضديد النيوترينو (أنظر الباب التاسع).

وهنا تنطلق الالكترونات بطاقات مختلفة اقلها صفراً واقصها E_{max} تساوي طاقة التحول (انظر الباب التاسع).

لاحظ هنا أن العدد الذري للعنصر يزداد بمقدار الوحدة بينما لايتغير الوزن الذري له.

ب . قد تعطي النواة المثارة طاقتها مباشرة إلى الالكترون المداري (المدار k أو L أو M ...) الذي يخرج بطاقة معينة تساوي الفرق ... طاقة الأثارة وطاقة ترابط الالكترون ويعرف هذا التفاعل

بالتحول الداخلي كما ويطلق على هذه الالكترونات : الكترونات التحول الداخلي (انظر الباب العاشر)

2. أشعة β^+

أ. يتحول البروتون إلى نيوترون حسب التفاعل:

$$n \longrightarrow p + e^+ + \upsilon \qquad (7 . 4)$$

$$p \longrightarrow n + e^+ + \upsilon$$

حيث

e^+ هي اشعة β^+ أو البوزيترونات .

υ هي النيوترينو

ويشبه طيف اشعة β^+ اشعة β^- من حيث توزيع الطاقة (انظر الباب التاسع)

لاحظ هنا أن العدد الذري للعنصر يقل بمقدار الوحدة بينما لايتغير الوزن الذري له .

3. أسر الالكترون:

قد تتمكن النواة من أسر الكترون مداري حيث يتحد مع البروتون ويتحول الأخير إلى نيوترون وذلك وفق التفاعل:

$$p + e^- \longrightarrow n + \bar{\upsilon} \qquad (8 . 4)$$

حيث ينطلق ضديد النيوترينو. (انظر الباب التاسع)

لاحظ هنا أن العدد الذري للعنصر يقل ايضاً بمقدار الوحدة بينما لا يتغير وزنه الذري . وبالتالي يعتبر . هذا التفاعل منافساً لانطلاق اشعة β^+.

ثالثاً: اشعة جاما (γ)

تنطلق اشعة γ (انظر الباب العاشر) نتيجة لحركة الشحنات داخل النواة فعندما تتحرك الشحنة يحدث حولها مجالاً مغناطيسياً ومن ثم يمكن أن تنشأ موجات كهرومغناطيسية بطاقة معينة تحكمها طبيعة وسرعة الشحنة . فمثلاً يمكن أن يتم انتقال البروتون بين القشور النووية مما ينتج عنه اشعاع (γ). لاحظ هنا أن انطلاق اشعة (γ) لا يصاحبه أي تغيير في العدد الذرى أو الوزن الذرى للعنصر . وسوف

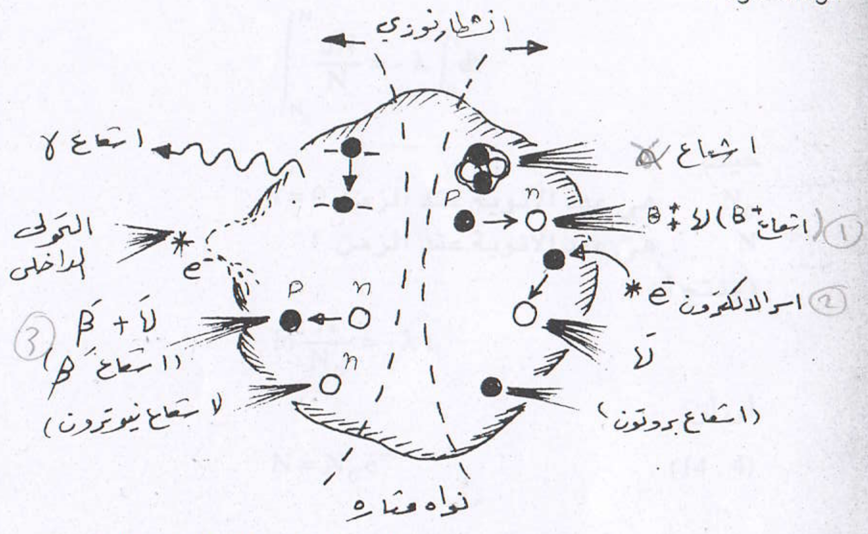
رابعاً: شعاع البروتون أو النيوترون

قد تكون طاقة النواة كافية لانطلاق بروتون أو نيوترون منها، ويعتمد ذلك على طاقة النواة والتركيب النووي لها وطاقة ترابط هذه النيوكليونات مع النواة حيث ينطلق البروتون أو النيوترون بطاقة معينة. وحيث أن هذه الجسيمات لها مقدرة على التأيين فإننا رأينا أن نضعها ضمن الاشعاع النووي باعتبار أنه ذلك الاشعاع ذي الطاقة العالية والتي تمكنه من احداث ايونات في المادة عند تفاعله معها .

خامساً: شظايا الانشطار

كما يمكن للنواة المثارة اثناء محاولاتها للتخلص من طاقتها الزائدة أن تنشطر إلى نواتين أصغر من النواة الأم فيما يعرف بتفاعل الانشطار النووي وهنا تنقسم النواة الى نواتين تتحركان بطاقة معينة وحيث أن هذه الانوية هي جسيمات مشحونة فانها تكون قادرة على احداث ايونات في المادة، ومن ثم يمكن وضعها ضمن النشاط الاشعاعي للمادة . (انظر الباب الرابع عشر) .

يبين الشكل (4 . 5) ضروب الاشعاع المختلفة التي يمكن أن تطلقها نواة مثارة .



الشكل (4 . 5) أنواع الاشعاع المختلفة التي يمكن أن تطلقها نواة مثارة .

3.4 قوانين الانحلال الاشعاعي:

بينا أن النواة يمكنها أن تطلق عدة أنماط من الاشعاع ويعتمد ذلك على خاصية ذاتية للنواة كما وأن احتمال انطلاق الاشعاع هو تفاعل عشوائي لا يعتمد على الظروف المحيطة بالنواة أو الضغط الوقع عليها أو درجة حرارتها .... الخ. فقد بين رذرفورد أن معدل تحلل الرادون - ^{222}Rn لم يتغير عند ازدياد الضغط الواقع عليه بألفي مرة. كما بين كوري أن هذا المعدل لم يتغيرعندما غير درجة الحرارة بين 450° C و 186° C. كما وأن احتمال تحلل النواة لا يعتمد على عمر هذه النواة. فقد تظل النواة دونما تحلل ملايين السنين قبل أن تتحلل فجأة وتطلق انواع معينة من الاشعاع

لنفترض أن لدينا عدد من الانوية قدرة N وأنه عند مرور زمن قدره dt فإن عدد من الأنوية قدره d N قد تحلل (اطلق اشعاع) فإنه ينتج أن:

$$d\,N \;\alpha\; -N\,dt$$

والاشارة السالبة هنا تعني أن عدد الأنوية الباقية يتناقص مع مرور الزمن.

ويمكن وضع العلاقة السابقة على صورة معادلة وذلك بالضرب في ثابت حيث ينتج أن:

$$d\,N = -\lambda N\,dt \qquad (9\,.\,4)$$

حيث

λ مقدار ثابت يدعى ثابت الانحلال. وهو كمية طبيعية ذاتية خاصة بالنواة ولايعتمد على أي من الشروط الطبيعية والكيميائية المحيطة بها.

ويمكن تعريف معدل الانحلال أو الفاعلية الاشعاعية (Activity) بأنها عدد الانحلالات في الثانية الواحدة الناتجة عن مادة مشعة ويرمز لها بالرمز **A** حيث:

$$A = \left|\frac{dN}{d\,t}\right| \quad \text{انحلالة/ثانية} \qquad (10\,.\,4)$$

ومن معادلة (4 . 9) نجد أن:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \qquad (11\,.\,4)$$

ومن معادلتي (4 . 10) , (4 . 11) ينتج أن:

$$A = \lambda N \qquad (12\,.\,4)$$

فإذا كان لدينا كتلة من المادة قدرها m ووزنها الجزيئي M فإن عدد الانوية بها (N) يعطي بالعلاقة:

$$N = \frac{m}{M} N_A \qquad (13\,.\,4)$$

حيث N_A هو عدد افوجادرو.

ومن ثم يمكن وضع معادلة (4 . 12) على الصورة:

$$A = \frac{\lambda\, m\, N_A}{M} \qquad (12'.\,4)$$

من المناسب أحياناً معرفة عدد الانوية الموجودة عند أية لحظة زمنية. ويمكن استنتاج علاقة لذلك باستخدام معادلة (4 . 11) حيث يمكن كتابتها على الصورة:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda\,dt \qquad (11'.\,4)$$

وبأخذ تكامل هذه المعادلة نجد أن:

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$$

حيث

N_0 هي عدد الأنوية عند الزمن $t = 0$

N هي عدد الانوية عند الزمن t

وينتج أن:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda\, t$$

أى أن:

$$N = N_0\, e^{-\lambda t} \qquad (14\,.\,4)$$

لاحظ هنا أن عدد الأنوية N عند أية لحظة زمنية يتناقص أسياً مع الزمن. كما ويمكن استخدام المعادلة (4 . 14) للحصول على علاقة تعطي الفاعلية الاشعاعية كدالة في الزمن وذلك بضرب طرفي هذه المعادلة

في λ وينتج أن:

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

أي أن:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \qquad (15 . 4)$$

حيث:

A , A_0 هي الفاعلية الاشعاعية عند الزمن $(t = 0)$، وعند أية لحظة زمنية (t) على الترتيب

1. عمر النصف Half - Life :($t_{1/2}$)

العدد الى نصف قيمته

ويعرف بأنه الزمن اللازم كي تقل الفاعلية إلى نصف قيمتها.

أي أنه: عندما $t = t_{\frac{1}{2}}$ فإن $N = \frac{N_0}{2}$

وباستخدام معادلة (4 . 14) فإن:

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

أي أن:

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

$$\ln \frac{1}{2} = - \lambda t_{1/2}$$

$$\ln 2 = \lambda t_{\frac{1}{2}}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$= - 0.693$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad (16 . 4)$$

هذه هي العلاقة التي يمكن بواسطتها تعين λ إذا تم تعين $t_{1/2}$ والعكس صحيح.

عند دراسة النشاط الاشعاعي للمواد تعطي قيمة $t_{1/2}$ وبالتالي يمكن كتابة معادلة (4 . 15) على الصورة:

$$A = A_0 e^{\frac{0.693\, t}{t_{1/2}}} \qquad (17 . 4)$$

2. متوسط العمر Mean life :(τ)

تبين المعادلة السابقة أن الفاعلية الاشعاعية هي دالة اسية في الزمن وبالتالي فعندما يأخذ الزمن قيمة لانهائية فإن الفاعلية تهبط إلى الصفر. وفي حقيقة الأمر إذا كان لدينا عينة من مادة مشعة فنحن لا نعرف على وجه التحديد أي نواة سوف تتحلل بعد لحظة زمنية معينة وهذا يعني أن العمر الزمني لنواة بعينها يتراوح بين الصفر وبين ما لا نهاية وبالتالي علينا أن نعرف متوسط العمر τ للنواة الواحدة. فإذا كان لدينا dN_1 نواة لها عمر قدره t_1 و dN_2 لها عمر قدره t_2 و هكذا ... فإن متوسط العمر τ هو عبارة عن مجموع اعمار كل الأنوية مقسوماً على عددها أي أن:

$$\tau = \frac{t_1\, dN_1 + t_2\, dN_2 + \ldots}{dN_1 + dN_2 + \ldots} \qquad (18 . 4)$$

$$= \frac{\sum t\, dN}{\sum dN}$$

$$= \frac{\int_0^{N_0} t\, dN}{\int_0^{N} dN}$$

$$= \frac{\int_0^{N_0} t\, dN}{N_0} \qquad (19 . 4)$$

حيث N_0 تساوي مجموع $dN_1 + dN_2 + \ldots$

وباستخدام معادلة (4 . 14) نجد أن:

$$dN = - \lambda N_0 e^{-\lambda t}\, dt$$

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

وبالتعويض في معادلة (4 . 19) نجد أن:

$$\tau = \frac{-1}{N_0} \int_{\infty}^{0} \lambda N_0 t e^{-\lambda t}\, dt$$

$$= \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t}\, dt \qquad (20 . 4)$$

التجزئ

ولحل هذه المعادلة فإننا نلجأ إلى التكاملات العيارية. فمن المعروف

أن:

$$\int_0^\infty \upsilon^3 e^{\lambda \upsilon^2} d\upsilon = \frac{1}{2\lambda^2} \qquad (21 . 4)$$

وبالتالي سنحاول وضع العلاقة (4 . 20) على هذه الصورة وذلك بكتابة:

$$t = \upsilon^2 \, , \; \upsilon = \sqrt{t}$$

$$\therefore \; dt = 2\upsilon \, d\upsilon$$

وبالتعويض عن t في معادلة (4 . 20) ينتج أن:

$$\int_0^\infty t e^{-\lambda t} dt = \int_0^\infty \upsilon^2 e^{\lambda \upsilon^2} \, 2\upsilon \, d\upsilon$$

بالتجزيء

$$= 2\int_0^\infty \upsilon^3 e^{\lambda \upsilon^2} d\upsilon$$

$$= \frac{2}{2\lambda^2} = \frac{1}{\lambda^2}$$

ومن معادلة (4 . 20) نجد أن:

$$\tau = \lambda \bullet \frac{1}{\lambda^2} \qquad (22 . 4)$$

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

أي أن متوسط عمر النواة الواحدة أكبر من عمر النصف للمادة المشعة ككل، لاحظ أن:

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

ومن معادلة (4 . 22) ينتج أن:

$$\tau = \frac{t_{1/2}}{0.693} = 1.44 \; t_{1/2} \qquad (23 . 4)$$

3. عمر النصف الفعلي The effective half-life (τ_{eff}) :

... فرع جديد من فروع الطب يعرف بالطب النووي Nuclear

بل لقد تم استخدام اشعة X في التشخيص الطبي منذ أمد بعيد. كما ويستخدم حالياً اشعاع γ في علاج الأورام السرطانية وغيرها. ولا تزال التجارب العلمية والطبية تجرى تباعاً لاستخدام آلات تصوير وتشخيص طبية باستخدام اشعاعات النيوترونات والبوزيترونات بالاضافة إلى آلات التشخيص باستخدام الرنين النووي المغناطيسي Nuclear Magnetic Resonance (NMR).

ان العلاج أو التشخيص باستخدام الاشعاع يستدعي أحياناً إدخال المادة المشعة داخل جسم الانسان، لعلاج العضو المصاب. وعند مراقبة النشاط الاشعاعي للمادة المشعة المزروعة في الجسم يمكن تكوين فكرة عن نشاط ذلك العضو. وفي واقع الأمر فإن الفاعلية الاشعاعية المقاسة تعتبر محصلة تفاعلين رئيسيين:

1. الفاعلية الاشعاعية الطبيعية للمادة المشعة كما لو كانت موجودة خارج الجسم وهذه لا تتأثر بكون المادة المشعة داخل جسم الانسان أو خارجه. وهذه تحدد وفق عمر النصف الطبيعي (τ) للمادة المشعة.
2. إن النشاط الحيوي Biological Activity للجسم يؤدي إلى استخراج Extraction المادة المشعة من الجسم حسب النشاط الحيوي ووظيفة العضو تحت العلاج. ومن ثم نعرف هنا عمر النصف البيولوجي Bilological half-life ونرمز له بالرمز (τ_b) وهو يتعلق بتناقص المادة المشعة الناتج عن النشاط الحيوي للعضو المصاب.

ومن ثم فإننا نجد أن عمر النصف الفعلي للمادة المشعة تحت الدراسة سينتج عن محصلة التفاعلين السابقين وبالتالي ندخل مفهوم عمر الفعلي (τ_{eff}) الذي يعطى بالعلاقة:

(توصيل التوازي)

$$\frac{1}{\tau_{eff}} = \frac{1}{\tau} + \frac{1}{\tau_b} \qquad (24 . 4)$$

أي أن:

$$\tau_{eff} = \frac{\tau \, . \, \tau_b}{\tau + \tau_b} \qquad (24' . 4)$$

4.4 وحدات قياس الفاعلية الاشعاعية:

ان ما يهمنا عند دراسة الاشعاع هو معرفة عدد الانحلالات disintegrations في الثانية الواحدة. وبالتالي ستعبر وحدة قياس الفاعلية الاشعاعية عن هذا العدد.

لنفترض أن لدينا 1 جرام من الراديوم 226 (بعمر نصف قدرة 1620 y) فإنه يمكن حساب عدد الانحلالات الناتجة في الثانية عن هذه العينة، حيث:

$$A = \lambda N$$
$$= \frac{0.693}{\tau} \frac{m}{M} N_A$$

حيث:

$$m = 1g = 10^{-3}\ Kg\ ,\ M = 226$$
$$N_A = 6.02\ X\ 10^{26}\ /Kmol$$

فإن:

$$A = \frac{0.693\ X\ 10^{-3}\ X\ 6.02\ X\ 10^{26}}{1620\ X\ 365\ X\ 24\ X\ 3600\ X\ 226}$$
$$\cong 3.7\ X\ 10^{10}\ \ dis/s$$

أي أن الفاعلية الاشعاعية الناتجة عن جرام واحد من الراديوم تساوي تقريباً $3.7\ X\ 10^{10}$ dis/s ولأسباب تاريخية عرفت هذه الكمية بالكوري (Ci) أي أن:

$$1\ Ci = 3.7\ X\ 10^{10}\ \ dis/s$$

كما وتوجد وحدات اخرى أصغر من الكوري حيث:

$$1\ m\ Ci = 3.7\ X\ 10^{7}\ \ dis/s\ = 1\ X\ 10^{-3}\ Ci$$
$$1\ \mu\ Ci = 3.7\ X\ 10^{4}\ \ dis/s\ = 1\ X\ 10^{-6}\ Ci$$

وهذه هي وحدات قياس الفاعلية الاشعاعية.

ولقد استخدمت حديثاً وحدة اخرى حسب النظام العالمي للوحدات (SI) حيث اخذت الوحدة بيكوريل لتكون وحدة قياس الفاعلية حيث:

$$1\ Bq = 1\ dis/s \qquad (25\ .\ 4)$$

ومن ثم فإن:

$$1\ Ci = 3.7\ X\ 10^{10}\ Bq \qquad (26\ .\ 4)$$

التفكك الاشعاعي المتتابع ؛

5.4 الانحلال الاشعاعي المتلاحق:

في بعض المواد المشعة سواءاً المحضرة صناعياً أو الموجودة طبيعياً نجد أن هذه المواد تقوم بانحلالات متلاحقة فمثلاً إذا كان لدينا نظيراً معيناً فإنه يتحول إلى نظير أخر ثم يتحلل الأخير الى أخر.. وهكذا حتى تتوقف السلسلة عند عنصر مستقر.

فإذا أخذنا نظير الراديوم 226 نجد أنه يتحلل الى الرادون الذي يتحلل بدوره إلى البولونيوم الذي يتحلل الى الاستاتين وهكذا تستمر السلسلة حتى تتوقف عند عنصر الرصاص المستقر (206) (انظر فيما بعد). وذلك وفق العلاقة:

$$^{226}_{88}Ra \xrightarrow[\alpha]{1620\ y} {}^{222}_{86}Rn \xrightarrow[\alpha]{3.83\ d} {}^{218}_{84}Po \xrightarrow[\beta^{+}]{3.5\ m} {}^{218}_{85}At \longrightarrow \ldots {}^{206}_{82}Pb$$

وما نحن بصدده الأن هو حساب معدل تحلل كل من هذه النظائر المتلاحقة وعدد الانوية المتواجدة عند اية لحظة زمنية وللسهولة سنفرض أولاً أن لدينا نظيراً معيناً X يتحلل إلى النظير Y الذي يتحلل بدوره إلى النظير Z المستقر. أي أن:

$$X \longrightarrow Y \longrightarrow Z\ \ (\text{مستقر})$$

ويكون عدد أنوية كل نظير عند زمن معين t هو N_1 , N_2 , N_3 على الترتيب. وحيث أننا بدأنا بالنظير (X) فإنه يسمى بالنظير الوالد (Parent) أما النواة (y) فتسمى بالنواة الوليدة (Daughter) وكذلك النواة (Z).

يبين الشكل (4 . 6) رسماً توضيحياً لما يحدث، حيث يتحلل X الى Y الذي يتحلل بدوره إلى Z المستقر . قمنا بتمثيل كل نظير على شكل اناء به سائل يتدفق من صنبور يتحكم في سرعة التدفق ، وهذا الصنبور عبارة عن ثابت الانحلال λ.

عندما يتحلل النظير X فإن فاعليته الاشعاعية $\frac{dN_1}{dt}$ تعطى بالعلاقة:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \qquad (27\ .\ 4)$$

حيث

N_1 عدد الانوية الموجودة عن أية لحظة زمنية

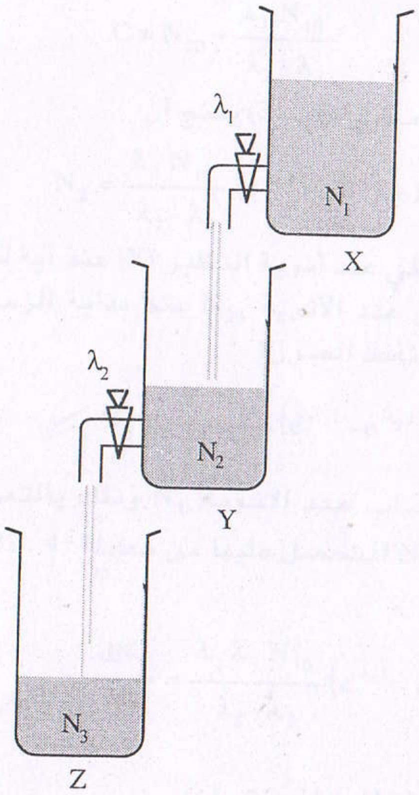
أما بالنسبة للنظير Y فإن:

$$\frac{dN_2}{dt} = +\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \qquad (28 . 4)$$

حيث

N_2 عدد الأنوية الموجودة عند أية لحظة زمنية

λ_2 ثابت الأنحلال له.



الشكل (4 . 6) رسم توضيحي للانحلال المتلاحق

لاحظ أن معدل تكوين النظير Y يساوي معدل تكونه ($\lambda_1 N_1$)

$-\lambda_2 N_2$

أما العنصر Z فإن معدل تكونه فيساوي معدل تحلل العنصر Y أي أن:

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \qquad (29 . 4)$$

وسوف نستنتج حلول هذه المعادلات الثلاث السابقة.

اما المعادلة (4 . 27) فقد استنتجنا حلها فيما سبق (4 . 14) حيث:

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \qquad (14'. 4)$$

حيث N_{10} عدد الانوية المتواجدة عند الزمن $t = 0$

أما المعادلة (4 . 28) فسنفترض أن حلها يمكن وضعه على الصورة:

$$N_2 = x e^{-\lambda_2 t} \qquad (30 . 4)$$

حيث x دالة في الزمن (t).

وبتفاضل هذه المعادلة بالنسبة للزمن ينتج أن:

$$\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 x e^{-\lambda_2 t} + e^{-\lambda_2 t} \frac{dx}{xt}$$

وبالتعويض في معادلة (4 . 28) نجد أن:

$$-\lambda_2 x e^{-\lambda_2 t} + e^{-\lambda_2 t} \frac{dx}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 x e^{-\lambda_2 t}$$

$$\therefore \quad \lambda_1 N_1 = e^{-\lambda_2 t} \frac{dx}{dt}$$

$$\frac{dx}{dt} = \lambda_1 N_1 e^{\lambda_2 t}$$

وبالتعويض الأن عن قيمة N_1 من معادلة (4 .'14) وينتج أن:

$$\frac{dx}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-t(\lambda_1 - \lambda_2)}$$

وبأخذ التكامل نجد أن:

$$x = \frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-t(\lambda_1 - \lambda_2)} + C$$

حيث C ثابت معين.

وبالتعويض في معادلة (4 . 30) ينتج أن:

$$N_2 = \frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} + C e^{-\lambda_2 t} \qquad (31 . 4)$$

ويمكن تعيين الثابت C حسب الشروط الابتدائية. فإذا افترضنا أن عدد الأنوية N_2 يساوي N_{20} عندما t = 0 فإن:

$$N_{20} = \frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_2 - \lambda_1} + C$$

أي أن :

$$C = N_{20} - \frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

وبالتعويض في معادلة (4 . 31) ينتج أن:

$$N_2 = \frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right) + N_{20}\, e^{-\lambda_2 t} \qquad (32 . 4)$$

وهذه المعادلة تعطي عدد أنوية النظير (Y) عند أية لحظة زمنية (t).

لاحظ أنه إذا كان عدد الأنوية N_{20} عند بداية الزمن يساوي صفراً فإن معادلة (4 . 32) تأخذ الصورة :

$$N_2 = \frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right) \qquad (32'. 4)$$

كما ويمكن حساب عدد الانوية N_3 وذلك بالتعويض في معادلة (4 . 29) عن قيمة N_2 المتحصل عليها من معادلة (4 .'32)

وينتج أن:

$$\frac{dN_3}{dt} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_{10}}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right)$$

وبأخذ تكامل هذه المعادلة ينتج أن:

$$N_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_{10}}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(\frac{e^{-\lambda_1 t}}{-\lambda_1} - \frac{e^{-\lambda_2 t}}{-\lambda_2}\right) + C$$

ويمكن تعيين الثابت C حسب الشروط الابتدائية اذ نجد أنه عندما t = 0 فإن $N_3 = 0$ وينتج أن:

$$C = N_{10}$$

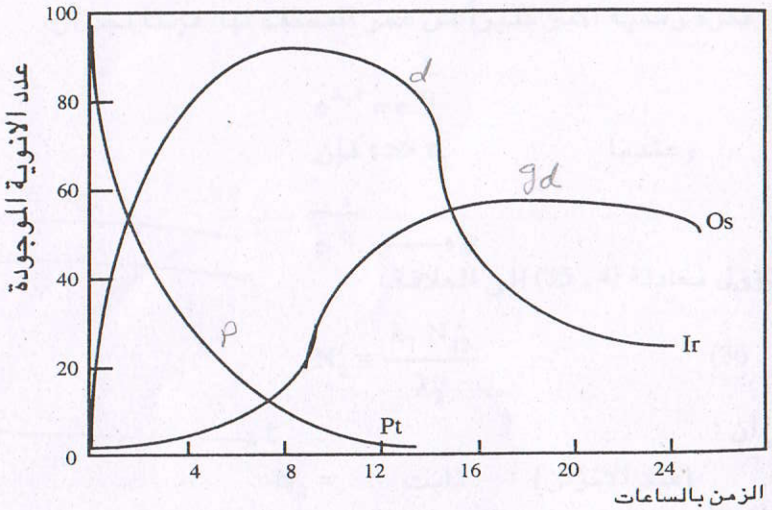
وبالتعويض في المعادلة السابقة ينتج أن:

$$N_3 = N_{10}\left[\frac{\lambda_1 e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_2 - \lambda_1} - \frac{\lambda_2 e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_2 - \lambda_1} + 1\right] \qquad (33 . 4)$$

وهذه المعادلة تعطي عدد الانوية المتولدة في العنصر المستقر عند أية لحظة زمنية.

يبين الشكل (4 . 7) مثالاً عملياً على التحلل المتلاحق ففي السلسلة التالية :

$${}^{187}_{78}Pt \xrightarrow[\beta^+,\,EC]{2.35\ h} {}^{187}_{77}Ir \xrightarrow[EC]{10.5\ h} {}^{178}_{76}Os \quad \text{(مستقر)}$$



الشكل (4 . 7) تحلل البستينيوم إلى الاريديوم إلى الاوزميوم

نجد أن البستينيوم Pt يتحلل بواسطة اطلاق أشعة β^+ والاسر الالكتروني إلى الاريديوم بعمر نصف قدره 2.35 ساعة ثم يتحلل الايريديوم Ir بواسطة الأسر الالكتروني بعمر نصف قدره 10.5 ساعة الى الاوزميوم Os وهو عنصر مستقر. فعلى سبيل المثال إذا بدأنا بمائة نواة من البستينوم بينما عدد أنوية الاريديوم والأوزيوم يساوي صفراً فإنه مع مرور الوقت تهبط عدد أنوية البستينيوم أسياً

وفق معادلة (4 . 14) أما عدد انوية الأريديوم فيأخذ في النمو حتى يصل إلى قيمة عظمى ثم يأخذ هو الأخر في التناقص أسياً مع الزمن حيث يعتمد ذلك على عمر النصف له وذلك وفق المعادلة (4 . 32) أما بالنسبة للأوزميوم فتأخذ عدد انويته في الزيادة مع مرور الزمن وذلك وفق معادلة (4 . 33).

وبصورة عامة يمكن ايجاد علاقة عامة لاعطاء معادلات تفاضلية لتعبر عن معدل تحلل أي نظير في السلسلة وذلك بالمقارنة مع معادلتي (4 . 27)، (4 . 28). أي أن:

الأم
$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

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

الحفيدة
$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3 \qquad (34 . 4)$$

$$\frac{dN_n}{dt} = \lambda_{n-1} N_{n-1} - \lambda_n N_n$$

حيث $N_1, N_2, \ldots N_n$ عدد انوية أي نظير في السلسلة عندالزمن t.

$\lambda_1, \lambda_2, \ldots \lambda_n$ ثابت التحلل لها.

وبحل هذه المعادلات مع بعضها البعض بطريقة مماثلة لما سبق يمكن ايجاد عدد انوية أي نظير عند أية لحظة زمنية.

6.4 الاتزان الاشعاعي

سنتناول الأن بعض الحالات الخاصة لايجاد عدد أنوية النظائر المختلفة في سلسلة معينة : وسنتناول بالدراسة حالتين:

أ) عندما $\tau_1 >> \tau_2$ يحدث الاتزان الدائم أوالوراثي.

ب) عندما $\tau_1 > \tau_2$ يحدث الاتزان العابر.

الأصل

1. الاتزان الدائم أو الوراثي Secular Equilibrium:

$t_{1/2}$ للأم $>> t_{1/2}$ للنواة الابنة

النصف للنواة المولودة أي أن $\tau_1 >> \tau_2$ $(\lambda_1 << \lambda_2)$ فإن عدد الانوية N_2 للنواة المولودة والمعطاة بالعلاقة (4 .'32) يمكن أن يعطى بالعلاقة المعدلة:

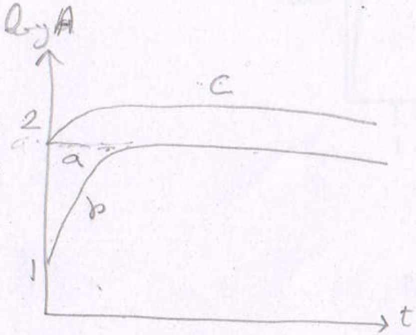
تعريف

$$N_2 \cong \frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_2}\left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right) \qquad (35 . 4)$$

حيث اهملت λ_1 بالنسبة الى λ_2 من المقام، أما $e^{-\lambda_1 t}$ فهي كمية تؤول الى العدد 1.

لاحظ هنا أن عدد الانوية المولودة لا يعتمد على عمر النصف للنواة الوالدة. كما وأن عدد الأنوية المولودة N_2 ينمو أسياً مع الزمن. وعند مرور فترة زمنية اكبر كثيراً من عمر النصف لها فإننا نجد أن:

$$e^{-\lambda_2 t} = e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$



وعندما $t >> \tau_2$ فإن

$$e^{-\frac{t}{\tau_2}} \longrightarrow 0$$

وتؤول معادلة (4 . 35) الى العلاقة :

$$N_2' \cong \frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_2} \qquad (36 . 4)$$

أي أن :

$$N_2' = \text{ثابت} \qquad \text{(عند الاتزان)}$$

وذلك لأن N_{10} هي عدد الانوية الوالدة عند بداية الزمن.

وهذا يعني أن عدد الأنوية المولودة يصل إلى مقدار ثابت N_2'. وهنا نتحدث عن الاتزان الاشعاعي بين عدد الأنوية المولودة والوالدة والذي يسمى بالاتزان الدائم.

لاحظ أن:
$$N_1 = N_{10}\, e^{-\lambda_1 t}$$

وحيث أن λ_1 صغيرة فإن $(1 = e^{-\lambda_1 t})$ كما أشرنا سابقاً وبالتالي فإن:

تقريب

$$N_1 \cong N_{10}$$

وبالتعويض عن ذلك في معادلة (4 . 36) نجد أن:

$$N'_2 \cong \frac{\lambda_1 N_1}{\lambda_2}$$

أي أن:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N'_2 \qquad (37 . 4)$$

أي أن:

$$A_1 = A_2 \qquad (38 . 4)$$

أي أن فاعلية النظير الوالد تساوي فاعلية النظير المولود . وذلك عند حدوث الاتزان الدائم أو الوراثي.

وكمثال على هذا الاتزان نأخذ تحلل الراديوم إلى الرادون الذي يتحلل بدورة إلى البولونيوم كما يلي:

$\tau_1 >> \tau_2$

$$^{226}Ra \xrightarrow[\alpha]{1620\ y} {}^{222}Rn \xrightarrow[\alpha]{3.83\ d} {}^{218}Po \qquad (39 . 4)$$

فالراديوم يتحلل عن طريق اشعة α إلى الرادون بعمر نصف قدرة 1620y وفور تكون الرادون يأخذ هو الأخر في التحلل إلى البولونيوم عن طريق اطلاق جسيمات α ولكن بعمر نصف قدرة 3.83 يوماً (أي أن $\tau_1 >> \tau_2$). وبالتالي فإن الرادون يتوالد بمعدل قدره $\lambda_1 N_1$ (معدل تحلل الراديوم) بينما يتحلل الرادون بمعدل قدره $\lambda_2 N_2$

وعند مرور فترة زمنية كافية يصبح معدل التوالد مساوياً لمعدل التحلل ونصل الى مرحلة الاتزان الاشعاعي أي أن:

$$\lambda_2 N'_2 = \lambda_1 N_1$$

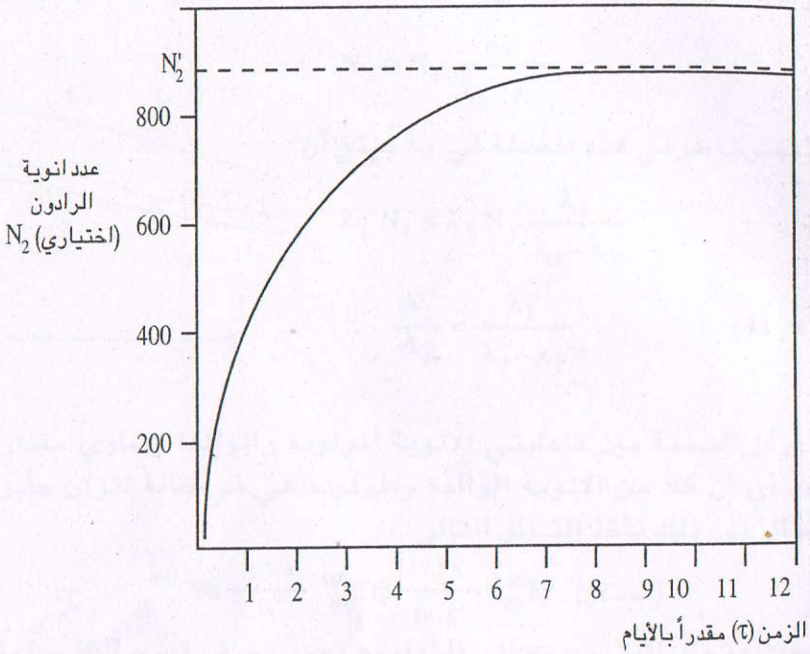
$$\lambda_2 N'_2 = \lambda_1 N_{10}\, e^{-\lambda_1 t}$$

وحيث أن λ_1 صغيرة جداً فإن $\lambda_1 t$ كمية صغيرة وبالتالي فإن $e^{-\lambda_1 t}$ تؤول إلى الوحدة وبالتالي فإن:

$$\lambda_2 N'_2 = \lambda_1 N_{10}$$

أي أن N'_2 تساوي مقداراً ثابتاً وهذ ماستنتجناه من معادلة (36 . 4) وهذا يعني أننا لو بدأنا بعينة نقية من الراديوم فإننا نجد أنه مع مرور الوقت يبدأ الرادون في التكون حتى يصل إلى قيمة ثابتة

يبين الشكل (8 . 4) نمو واتزان الرادون في عينة نقية من الراديوم.



الشكل (8 . 4) نمو واتزان الراديوم

حيث نجد أن غاز الرادون يأخذ في النمو في العينة وذلك وفق العلاقة (35 . 4) وعمر النصف (τ_2) التي يمكن أن نكتبها بدلالة عدد الأنوية عند الاتزان (N'_2) أي أن:

$$N_2 = N'_2\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}\right) \qquad (40 . 4)$$

باستخدام معادلة (40 . 4) يمكن حساب N_2 عندما $t = \tau_2, t = 2\tau_2, t = 3\tau_2$ وهكذا. حيث نجد أنه عندما $t >> \tau_2$ فإن N_2 تؤول إلى N'_2 أي أن عدد الانوية يصل إلى قيمة ثابتة تساوي عددها عند الاتزان وذلك ما يتضح من الشكل (8 . 4) لاحظ أنه إذا كانت النواة الثانية مشعة هي الأخرى

Ex !

ثابت وبالتالي نجد أن جميع اعضاء السلسلة الشعاعية - باستثناء النظير الأخير - ستصل إلى اتزان اشعاعي كل مع الأخر هذا بأفتراض أن عمر النصف للوالد الأول كبير جداً.

التوازن الانتقالي :

2. الاتزان العابر Transient Equilibrium:

لنفرض الأن أن عمر النصف للنواة الوالدة أكبر من عمر النصف للنواة المولودة أي أن $\tau_1 > \tau_2$ $(\lambda_1 < \lambda_2)$ فما الذي يحدث عند مرور الزمن؟ سوف تبدأ النواة الوالدة في التحلل بينما يبدأ عدد الأنوية المولودة في الازدياد حتى يصل إلى قيمة عظمى ثم يأخذ بعد ذلك في النقصان عندما تتحلل هي الأخرى إلى نواة اخرى... ويمكن اثبات ذلك بمفاضلة معادلة (4 . '32) بالنسبة للزمن ومساواته بالصفر وينتج أن:

$$\frac{dN_2}{dt} = 0 \quad , N_2 = \frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(\lambda_2 e^{-\lambda_2 t_{max}} - \lambda_1 e^{-\lambda_1 t_{max}}\right)$$

أي أن :

$$\frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(\lambda_2 e^{-\lambda_2 t_{max}} - \lambda_1 e^{-\lambda_1 t_{max}}\right) = 0 \qquad (41 . 4)$$

حيث $e^{-\lambda_2 t} \approx 0, \; e^{-\lambda_1 t} \neq 0$

t_{max} الزمن الذي يصل فيه عدد الأنوية الوليدة إلى اقصى قيمة له.

ومنها ينتج أن :

$$t_{max} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \ln \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \qquad (42 . 4)$$

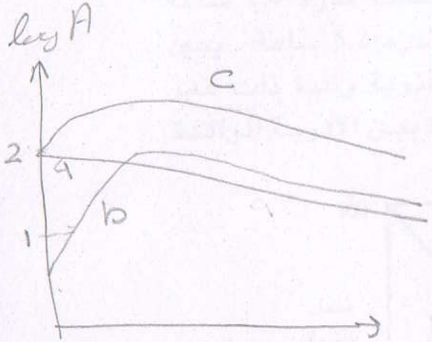
بعد هذا الزمن تأخذ الأنوية المولودة في التحلل بمعدل معين وبالرجوع مرة اخرى الى المعادلة (4 . '32) نجد أن $e^{-\lambda_2 t}$ تصبح مقداراً صغيراً يمكن اهماله بالنسبة للمقدار $e^{-\lambda_1 t}$ $(\lambda_2 < \lambda_1)$ وبالتالي تؤول هذه المعادلة إلى العلاقة :

$$N_2 \cong \frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \qquad (43 . 4)$$

أي أن الانوية المولودة تتحلل بثابت تحلل يساوي ثابت تحلل الانوية الوالدة (λ_1).

ومن العلاقة السابقة نجد أن:

$$N_2 \cong N_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$$



وبضرب طرفي هذه المعادلة في λ_2 ينتج أن:

$$\lambda_2 N_2 \cong \lambda_1 N_1 \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

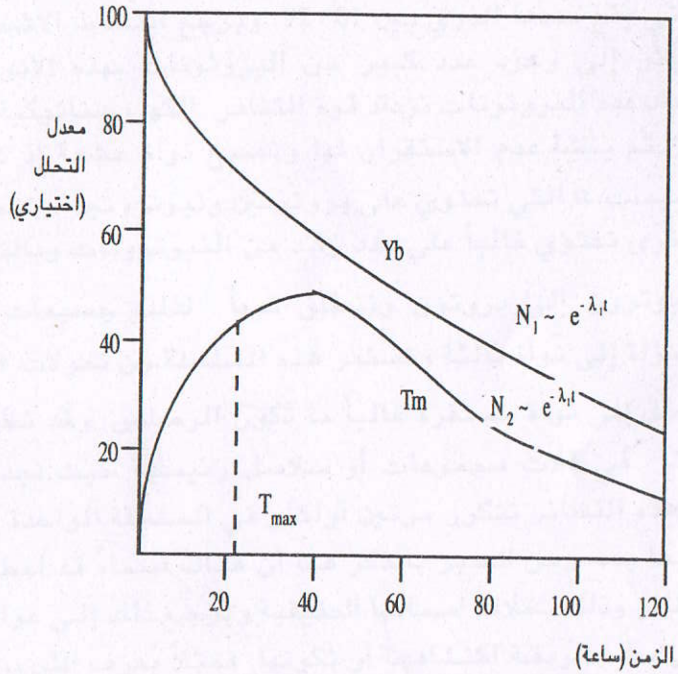
$$\therefore \quad \frac{A_2}{A_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \qquad (44 . 4)$$

أي أن النسبة بين فاعليتي الانوية المولودة والوالدة يساوي مقدار ثابت أي أن كلاً من الانوية الوالدة والمولودة هي في حالة اتزان عابر وكمثال على ذلك نأخذ التحلل التالي:

$${}^{166}_{70}Yb \xrightarrow[Ec]{56.7\ h} {}^{166}_{69}Tm \xrightarrow[Ec,\ \beta^+]{7.7\ h} {}^{166}_{68}Er \ \text{(مستقر)}$$

حيث يتحلل اليتريبيوم الى الثوليوم بعمر نصف قدره 56.7 ساعة ثم يتحلل الاخير إلى الايريبيوم المستقر بعمر نصف قدره 7.7 ساعة وعند رسم العلاقة بين عدد انوية (معدل تحلل) كل منهما نحصل على شكل مماثل للشكل (4 . 9) حيث نجد أن الثوليوم ينمو إلى قيمة عظمى وذلك عند زمن t_{max} (حوالي 18ساعة) ثم يأخذ في التحلل بمعدل تحلل الانوية الوالدة (اليتريبيوم) أي انه كلاً من الثوليوم واليتريبيوم في حالة اتزان كل مع الأخر.

لنأخذ الأن حالة اخرى وذلك بافتراض أن عمر النصف للنواة الوالدة أصغر من عمر النصف للنواة الوليدة أي أن $\tau_1 < \tau_2$ $(\lambda_1 > \lambda_2)$ فماذا سيحدث مع مرور الزمن ؟. سوف تبدأ الانوية الوالدة في التحلل بينما يبدأ عدد الانوية المولودة في الازدياد حتى الوصول إلى قيمة عظمى ثم يأخذ في النقصان عندما تتحلل هي الأخرى إلى انوية ثالثة . وذلك كما بينا فيما سبق (معادلة 4 . 42).



الشكل (4 . 9) نمو وتحلل الأنوية الوليدة والاتزان العابر مع الانوية الوالدة

وبالرجوع الى معادلة (4 .'32) يمكن استنتاج عدد الأنوية N_2' وذلك عندما $\lambda_1 > \lambda_2$ حيث نجد أنه يمكننا الأن اهمال الحد $e^{-\lambda_1 t}$ بالنسبة للحد $e^{-\lambda_2 t}$ وينتج أن:

$$N_2 \cong \frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{-\lambda_2 t} \qquad (45 . 4)$$

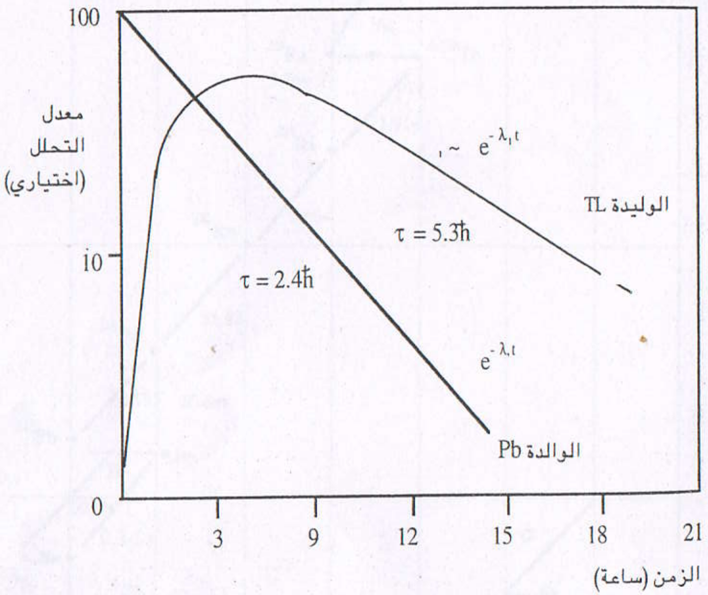
ماذا تعني هذه المعادلة؟

نلاحظ هنا أن معدل تحلل N_2 يعتمد على ثابت التحلل الخاص بها (λ_2) وليس ذلك الخاص بالنواة الوالدة (وذلك بالمقارنة مع المعادلة 43.4).

وكمثال عملي على ذلك نأخذ التحلل التالي:

$${}^{198}_{82}Pb \xrightarrow[Ec]{2.4\,\hbar} {}^{198}_{81}Tl \xrightarrow[Ec]{5.3\,\hbar} {}^{198}_{80}Hg \ (\text{مستقر})$$

حيث يتحلل الرصاص إلى الثاليوم بعمر نصف قدره 2.4 ساعة بينما يتحلل الأخير إلى الزئبق بعمر نصف قدره 5.3 ساعة . يبين الشكل (4 . 10) نمو وتحلل الأنوية الوليدة من انوية والدة ذات عمر نصف قصير. لاحظ هنا أنه لايوجد اتزان بالمرة بين الانوية الوالدة

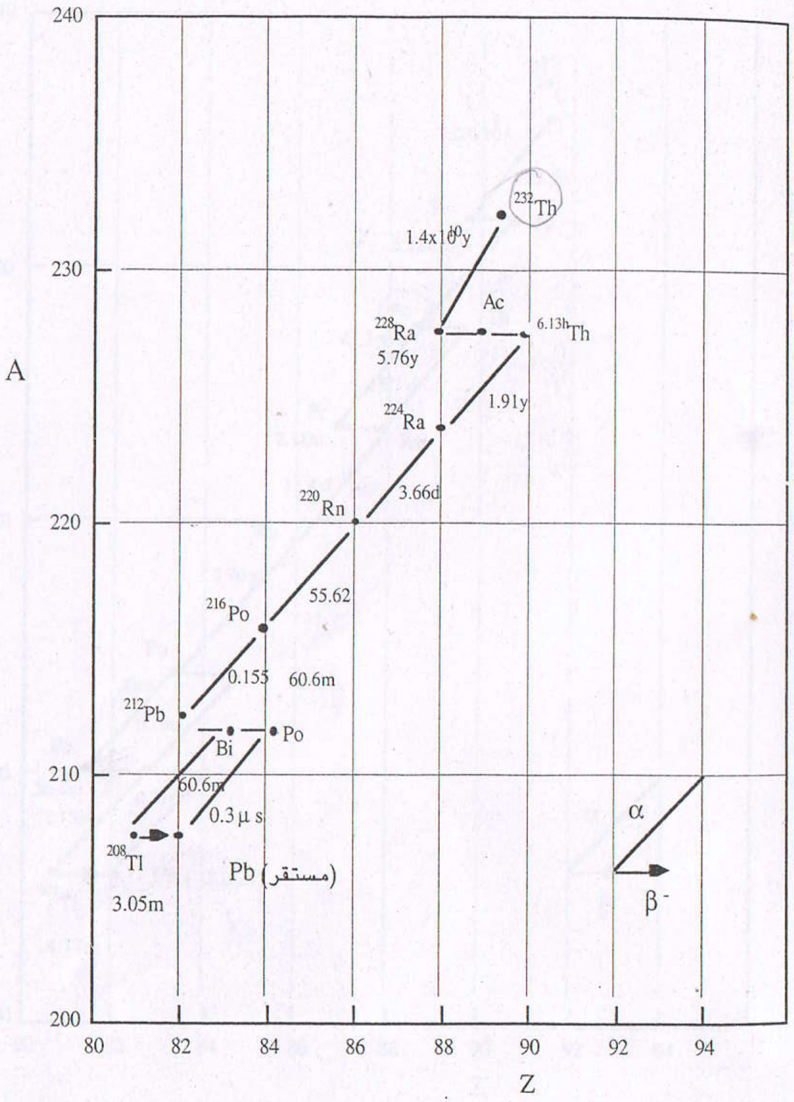


الشكل (4 . 10) نمو وتحلل الأنوية الوليدة من انوية ذات عمر نصف قصير

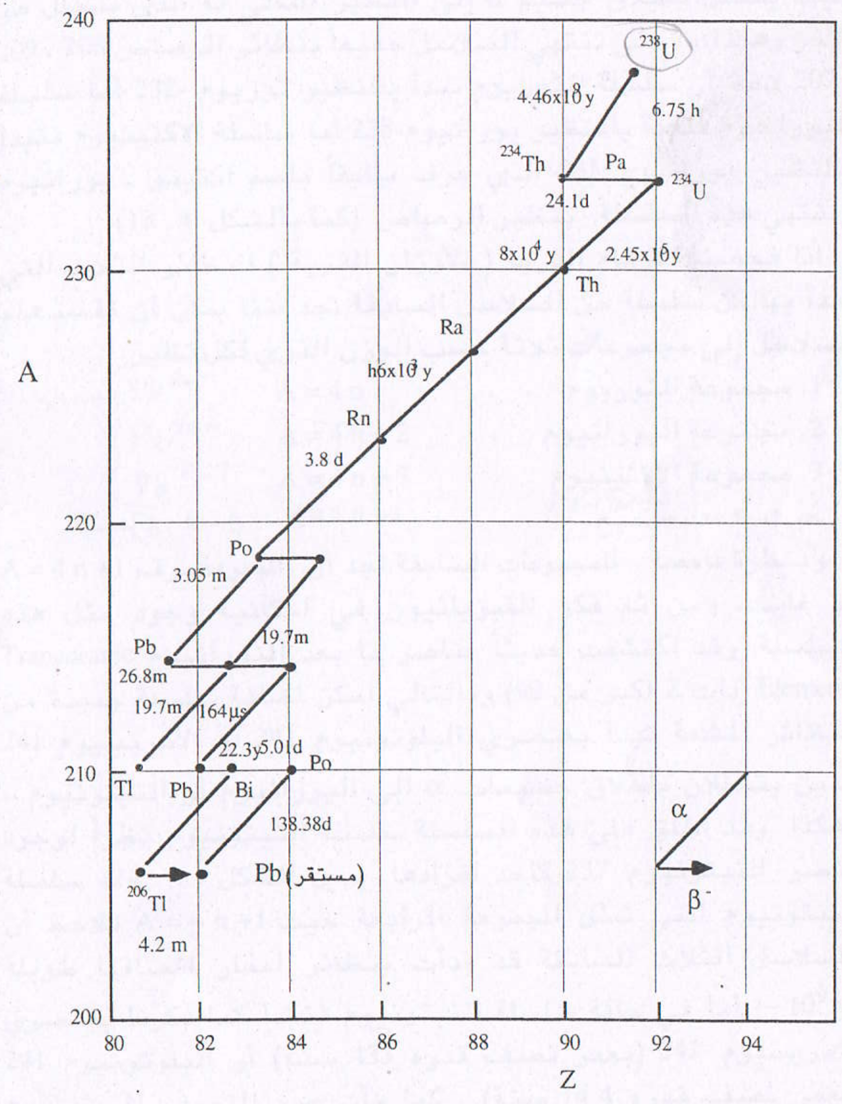
والوليدة إذ أن كلاً منهما تتحلل بثابت تحلل خاص بها . كما ونلاحظ هنا أنه نظراً لقصر عمرالانوية الوالدة فإن عددها يهبط بسرعة إلى قيمة مهملة بينما مع مرور زمن يساوي عدة مرات من عمر النصف له تصبح الفاعلية الكلية للعينة هي تلك الناتجة عن الأنوية الوليدة، كما يتضح من الشكل (4 . 10).

7.4 السلاسل الاشعاعية الطبيعية

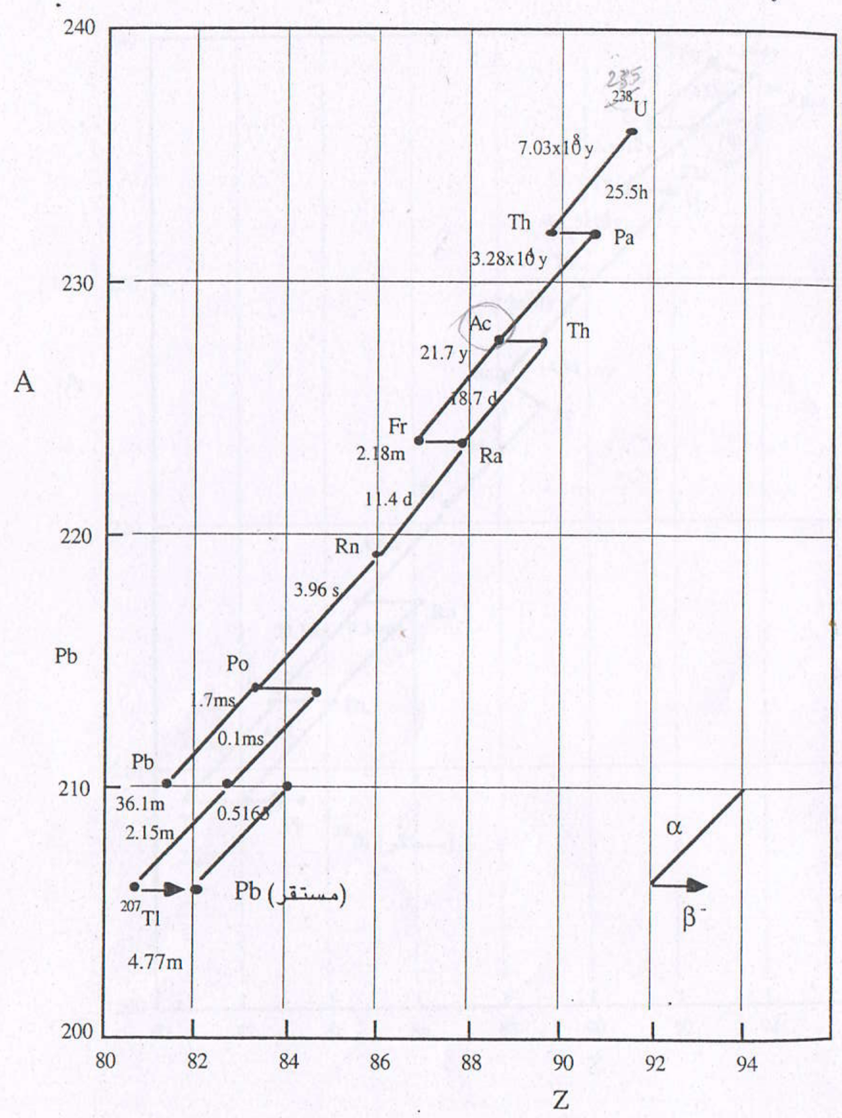
هناك العديد من النظائر المشعة الموجودة في الطبيعة ، وخاصة تلك النظائر التي يقع عددها الذري بين 81 ، 92. ويرجع النشاط الاشعاعي لتلك النظائر إلى وجود عدد كبير من البروتونات بهذه الأنوية . وعندما يزداد عدد البروتونات تزداد قوة التنافر الكهروستاتيكية في النواة ومن ثم ينشأ عدم الاستقرار لها وتصبح نواة مشعة إذ تقوم باطلاق جسيمات α التي تحتوي على بروتونين ونيوترونين. وتتحول إلى نواة إخرى تحتوي غالباً على عدد زائد من النيوترونات وبالتالي يتحول النيوترون إلى بروتون وتنطلق تبعاً لذلك جسيمات β^- وتتحول النواة إلى نواة ثالثة وتستمر هذه السلسلة من تحولات α ثم β^- حتى تصل إلى نواة مستقرة غالباً ما تكون الرصاص وقد نظمت هذه النظائر في ثلاث مجموعات أو سلاسل رئيسية حيث نجد أن الكثير من هذه النظائر تتكرر مرتين أواكثر في السلسلة الواحدة كما سيتضح فيما بعد. ومن الجدير بالذكر هنا أن هناك اسماءً قد اعطيت لبعض النظائر وذلك بخلاف اسمائها الحقيقية ويرجع ذلك إلى عوامل تاريخية ترتبط بطريقة اكتشافها أو تكونها. فمثلاً يعرف الثوريوم - 234 باليورانيوم UX_1 . نبين في الاشكال (4 . 11) ، (4 . 12) ، (4 . 13) سلاسل الثوريوم واليورانيوم والاكتينيوم، على الترتيب.



الشكل (4 . 11) سلسلة الثوريوم



الشكل (4 . 12) سلسلة اليورانيوم



الشكل (4 . 13) سلسلة الاكتينيوم

لاحظ أن كل سلسلة من هذه السلاسل تبدأ بنظير عمر النصف له كبير حيث يتحلل باطلاق جسيم α إلى النظير التالي له الذي يتحلل هو الأخر وهكذا.... حتى تنتهي السلاسل جميعاً بنظائر الرصاص 208 ، 209 ، 207 لاحظ أن سلسلة الثوريوم تبدأ بالنظير ثوريوم -232 أما سلسلة اليورانيوم فتبدأ بالنظير يورانيوم 238 أما سلسلة الاكتينيوم فتبدأ بالنظير يورانيوم 235 الذي عرف سابقاً باسم اكتينو - يورانيوم وتنتهي هذه السلسلة بنظير الرصاص (كما بالشكل 4 . 13).

اذا فحصنا الارقام الذرية (الأوزان الذرية) للنظائر الثلاث التي تبدأ بها كل سلسلة من السلاسل السابقة تجد أننا يمكن أن نقسم هذه السلاسل إلى مجموعات ثلاثة حسب الوزن الذري لكل نظير:

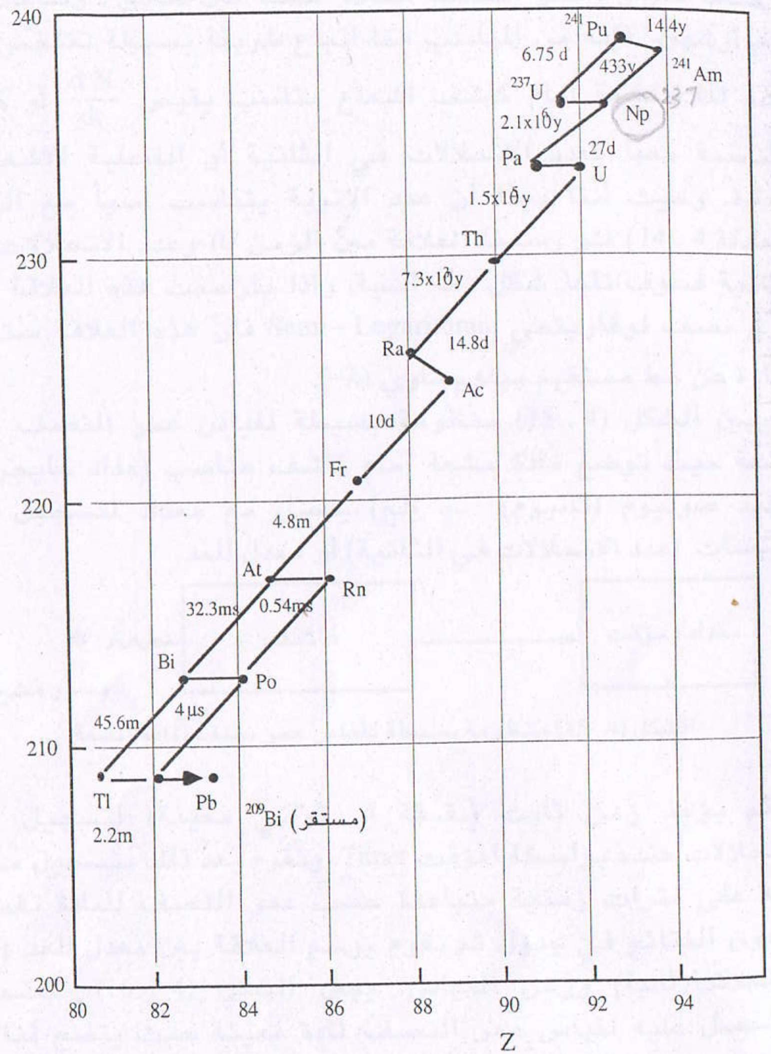
1. مجموعة الثوريوم ، $A = 4n$ — Pb^{208}
2. مجموعة اليورانيوم ، $A = 4n+2$ — Pb^{206}
3. مجموعة الاكتينيوم ، $A = 4n+3$ — Pb^{207}

جدول (1-2)

النبتونيوم $A=4n+1$ — Bi^{209}

حيث n عدد صحيح.

وبنظرة فاحصة للمجموعات السابقة نجد أن المجموعة برقم $A = 4n+1$ قد غابت، ومن ثم فكر الفيزيائيون في امكانية وجود مثل هذه السلسلة. وقد اكتشفت حديثاً عناصر ما بعد اليورانيوم Transuranic Elements (ذات Z اكبر من 92) وبالتالي أمكن اضافة سلسلة جديدة من النظائر المشعة تبدأ بعنصري البلوتونيوم 241 أو الأمريسيوم 241 الذين يتحللان باطلاق جسيمات α الى اليورانيوم أو النبتونيوم... وهكذا. وقد اطلق على هذه السلسلة سلسلة النبتونيوم نظراً لوجود عنصر النبتونيوم 237 كاحد افرادها. يبين الشكل (4 . 14) سلسلة النبتونيوم التي تمثل المجموعة الرابعة حيث $A = 4n+1$ نلاحظ أن السلاسل الثلاث السابقة قد بدأت بنظائر اعمار انصافها طويلة ($\sim 10^9$ y) أما في حالة سلسلة النبتونيوم فتبدأ كما ذكرنا بعنصري الامريسيوم 241 (بعمر نصف قدره 433 سنة) أو البلوتونيوم 241 (بعمر نصف قدره 14.4 سنة) ، كما وأن عمر النصف للنبتونيوم يساوي 2.1×10^6 سنة وهو قصير نسبياً بالمقارنة مع اعمار النصف للنظائر الوالدة للسلاسل الثلاث السابقة . إن ذلك نتج عنه غياب مجموعة البتونيوم في الطبيعة وذلك لانها قد تحللت واختفت اثناء



الشكل (4 . 14) سلسلة النبتونيوم

لاحظ أيضاً أن سلسلة النبتونيوم تنتهي بعنصر البزموت و 209 المستقر وليس بعناصر الرصاص كما هو الحال في السلاسل الثلاث السابقة.

بالاضافة إلى النظائر المشعة الطبيعية أمكن حديثاً تحضير اكثر من ألف نظير مشع صناعياً تصل انصاف اعمار بعضها إلى اجزاء من الثانية وتستخدم في العديد من التطبيقات الصناعية والطبية.

8.4 قياس عمر النصف لمادة مشعة

هناك عدة طرق لتعيين عمر النصف لمادة مشعة وتعتمد هذه على عمر النصف نفسه للمادة وتتراوح اعمارالنصف للمواد المشعة بين اجزاء من الثانية الى 10^{10} سنة أو يزيد . هذا بالاضافة إلى أن بعض النظائرالمشعة توجد في حالات (مستويات) اثارة ذات اعمار انصاف خاصة بها ايضاً حيث تهبط قيم بعضها إلى 10^{-12} ثانية أو أقل.

ويتضح من هذا المدى الشاسع أنه يجب أن تكون هناك طرق عدة لقياس هذه الأزمنة.

1. عمر النصف الطويل جداً:

$A=\lambda N$

تبين معادلة (4 . 12) أن الفاعلية الاشعاعية (A) يمكن حسابها إذا عرفنا كتلة المادة m ووزنها الجزيئي M وعدد افوجادرو وثابت الانحلال (λ) وبالعكس إذا تم قياس الفاعلية الاشعاعية (A) والتي تساوي معدل تحلل المادة فإنه يمكن قياس λ ومن ثم حساب $t_{1/2}$ حيث نجد أن :

N_A M

?N m

$$t_{1/2} = \frac{0.693\ m\ N_A}{M A} \qquad (46 . 4)$$

$\frac{A}{N} = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$

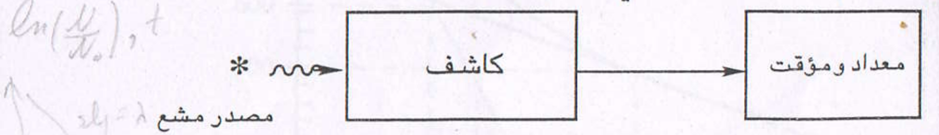
والفاعلية الاشعاعية (A) هي عبارة عن $-\frac{dN}{dt}$ أي عدد الذرات المتحللة في وحدة الزمن أي عدد الانحلالات في الثانية وبالتالي إذا توفر لدينا كاشف عن الاشعاع (انظر الباب الثالث عشر) مناسب يقيس لنا قيمة $\frac{dN}{dt}$ المطلقة فإنه يمكننا حساب عمر النصف الطويل الذي يصل إلى 10^{10} سنة .

2. عمر النصف القصير:

عندما يتراوح عمر النصف للمادة المشعة بين دقائق - وساعات أو ايام أوشهور فإنه من المناسب هنا اتباع طريقة بسيطة تتلخص في وضع المادةالمشعة أمام كاشف اشعاع مناسب يقيس $\frac{dN}{dt}$ أو كمية متناسبة معها كعدد الانحلالات في الثانية أو الفاعلية الاشعاعية للمادة. وحيث أننا بينا أن عدد الانوية يتناسب اسياً مع الزمن (معادلة 4 . 14) $N=N_0e^{-\lambda t}$ فلو رسمنا العلاقة بين الزمن (t) وعدد الانحلالات في الثانية فسوف تأخذ شكل دالة اسية، واذا مارسمت هذه العلاقة على ورق نصف لوغاريتمي Semi - Logarithmic فإن هذه العلاقة ستكون عبارة عن خط مستقيم ميله يساوي ($-\lambda$).

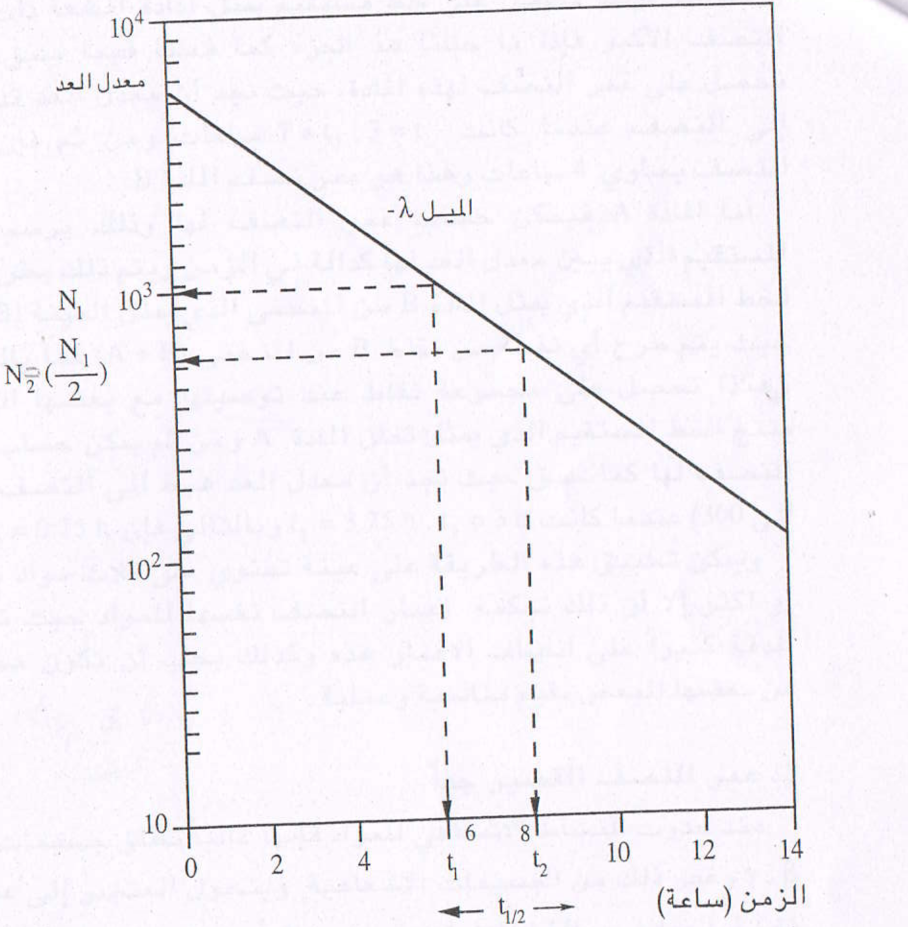
يبين الشكل (4 . 15) منظومة بسيطة لقياس عمر النصف لمادة مشعة حيث توضع مادة مشعة أمام كاشف مناسب (عداد جايجر أو يوديد صوديوم (ثاليوم) ... الخ) يتصل مع معداد لتسجيل عدد النبضات (عدد الانحلالات في الثانية) أو معدل العد.

$\ln(\frac{N}{N_0}), t$



الشكل (4 . 15) منظومة بسيطة لقياس عمر نصف المادة المشعة

ثم يؤخذ زمن ثابت (دقيقة او ثواني معينة) لتسجيل عدد الانحلالات عنده بواسطة المؤقت Timer. ونقوم بعد ذلك بتسجيل معدل العد على فترات زمنية متباعدة حسب عمر النصف للمادة نفسها. وندون النتائج في جدول ثم نقوم برسم العلاقة بين معدل العد (عدد الانحلالات/ ثانية) وزمن القياس. يبين الشكل (4 . 16) المنحنى المتحصل عليه لقياس عمر النصف لمادة معينة حيث يتضح لنا أن المنحنى عبارة عن خط مستقيم وذلك لأن المحور الرأسي يبين معدل العد أو الفاعلية الاشعاعية أو عدد الانحلالات /ثانية (لاحظ أن هذه الكميات الثلاث مرتبطة كل مع الاخرى)، أما المحور الأفقي فيبين زمن القياس مقدراً بالساعات.

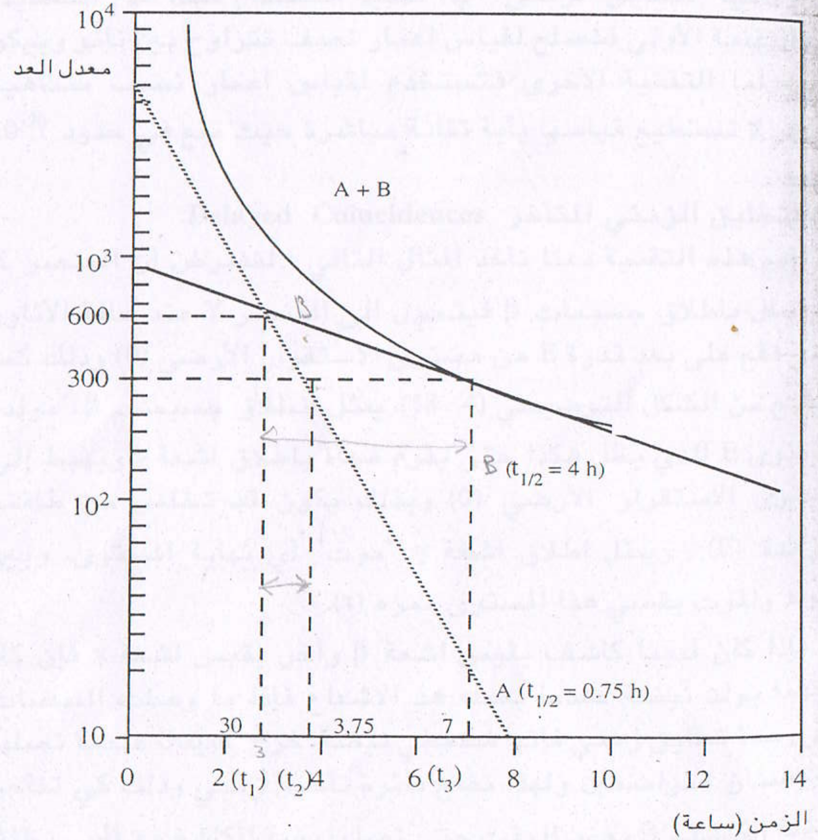


الشكل (4 . 16) منحنى تحلل مادة ما وتعيين عمر النصف لها

لتعين عمر النصف من المنحنى فإننا نأخذ قيمة معينة على محور معدل العد ولتكن 1000 انحلاله /ثانية وهي N_1 (كما بالشكل) ونعين الزمن المقابل لها وليكن t_1 (6 ساعات) ثم نأخذ نصف معدل العد 500 وهو $\left(\frac{N_1}{2}\right) N_2$ نعين الزمن المقابل له وليكن ...

عمر النصف للمادة هو $(t_2 - t_1)$ ومن الشكل نجد أن هذا الزمن يساوي 2.5 ساعة.

كما ويمكن استخدام هذه الطريقة لتعيين عمري النصف لمادتين مشعتين موجودتين في عينة ما . أي أنه لدينا الآن عينة مختلطة من عنصرين أو اكثر ويمكننا تسجيل معدل العد للعينة ككل فنحصل على منحنى مماثل للشكل (4 .17) حيث يبين المنحنى الناتج عن عينة تحتوي



الشكل (4 . 17) تحليل منحنى تحلل مادتين مشعتين

على مادتين مشعتين (A , B) يبين الشكل المنحنى الذي يمكن الحصول ...

يأخذ شكل الخط المستقيم عند أخره فإذا ما مددنا هذ الجزء على استقامته فإننا نحصل على خط مستقيم يمثل المادة المشعة ذات عمر النصف الأكبر فإذا ما حللنا هذ الجزء كما فعلنا فيما سبق فإننا نحصل على عمر النصف لهذه المادة، حيث نجد أن معدل العد قد هبط إلى النصف عندما كانت $3 = t_1$, $7 = t_3$ ساعات ومن ثم فإن عمر النصف يساوي 4 ساعات وهذا هو عمر نصف المادة B.

أما المادة A فيمكن حساب عمر النصف لها وذلك برسم الخط المستقيم الذي يبين معدل العد لها كدالة في الزمن ويتم ذلك بطرح قيم الخط المستقيم الذي يمثل المادة B من المنحنى الذي يمثل العينة (A + B) حيث يتم طرح أي نقطة من نقاط B من المنحنى (A + B) كما بالشكل. وهكذا نحصل على مجموعة نقاط عند توصيلها مع بعضها البعض ينتج الخط المستقيم الذي يمثل تحلل المادة A ومن ثم يمكن حساب عمر النصف لها كما سبق حيث نجد أن معدل العد هبط الى النصف (600 الى 300) عندما كانت $t_1 = 3$ h , $t_2 = 3.75$ h وبالتالي فإن $t_{1/2} = 0.75$ h

ويمكن تطبيق هذه الطريقة على عينة تحتوي على ثلاث مواد مشعة أو اكثر إلا أن ذلك تحكمه اعمار النصف نفسها للمواد حيث تعتمد الدقة كثيراً على انصاف الاعمار هذه وكذلك يجب أن تكون مختلفة عن بعضها البعض بقيم مناسبة وعملية.

$t_{1/2} \neq t_{2\,1/2}$

3. عمر النصف القصير جداً:

عند حدوث النشاط الاشعاعي للمواد فإنها غالباً تطلق جسيمات α , β , γ وغير ذلك من الجسيمات الاشعاعية ويتحول العنصر إلى عنصر آخر (ما عدا في حالة اطلاق اشعاع γ) وغالباً ما يكون هذا العنصر في حالة أثارة أو مستويات أثارة . ويظل العنصر في مستوى الأثارة المعين فترة من الزمن ثم تتحلل هذه المستويات نفسها إلى مستويات ادنى منها أو إلى مستوى الاستقرار الارضي وذلك باطلاقها غالباً اشعاع γ.

وما يهمنا هنا في هذا المقام هو الفترة الزمنية التي يعيشها المستوى المعني قبل أن يتحلل إلى مستوى آخر وهو عندما يفعل ذلك فإنه يطلق اشعاع جاما - كما اسلفنا - وهذا الاشعاع يحدث ايونات

الاشعاعي أي أنه سينتج عدد معين من الانحلالات في الثانية ونلاحظ نشاطاً اشعاعياً للمادة وبالتالي يمكن قياس عمر النصف للمستوى الاشعاعي المعين.

وتتراوح اعمار النصف لهذه المستويات الاشعاعية بين 10^{-6} إلى 10^{-20} ثانية وهذا هو المدى الذي يمكن أن نتناوله في هذا الكتاب.

وتستخدم لقياس عمر النصف في هذا المدى تقنيتين رئيسيتين:

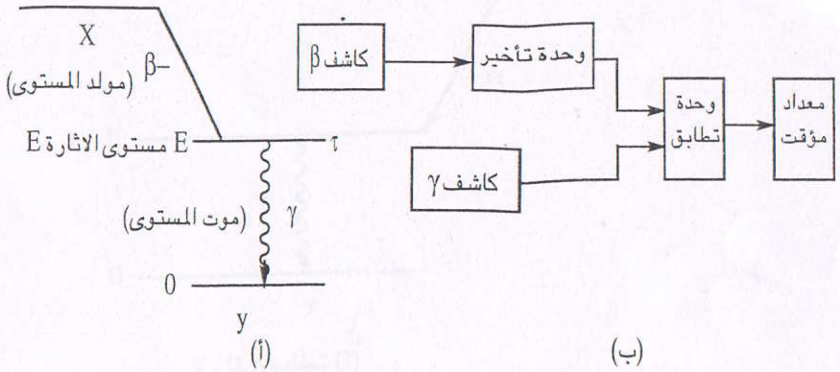
أ) تقنية التطابق الزمني ب) تقنية استخدام مبدأ عدم التحديد.

أما التقنية الأولى فتصلح لقياس اعمار نصف تتراوح بين نانو وبيكو ثانية أما التقنية الأخرى فتستخدم لقياس اعمار نصف متناهية الصغر لا نستطيع قياسها بأية تقانة مباشرة حيث تقع في حدود 10^{-20} ثانية.

أ) التطابق الزمني المتأخر Delayed Coincidences:

لفهم هذه التقنية دعنا نأخذ المثال التالي : لنفترض أن العنصر X قد تحلل باطلاق جسيمات β فيتحول الى العنصر Y عند حالة الأثارة التي تقع على بعد قدرة E من مستوى الاستقرار الأرضي (0) وذلك كما يتضح من الشكل التوضيحي (4 . 18). يمثل انطلاق جسيمات β "مولد" المستوى E الذي يظل هكذا حتى يقوم فجأة باطلاق اشعة γ ويهبط إلى مستوى الاستقرار الأرضي (0) وبذلك يكون قد تخلص من طاقته الزائدة (E) . ويمثل اطلاق اشعة γ "موت" أي نهاية المستوى، وبين المولد والموت يقضي هذا المستوى عمره (τ).

فإذا كان لدينا كاشف يقيس اشعة β وأخر يقيس اشعة γ فإن كلاً منهما يولد نبضة عندما يصله هذ الاشعاع فإذا ما وصلت النبضات إلى وحدة تطابق زمني فإنها ستعطي نبضة خرج Output عندما تصلها النبضتان متزامنتين ولهذا نضع دائرة تأخير زمني وذلك كي تتأخر نبضة الكاشف β بعض الوقت حتى تصل نبضة الكاشف γ (أي ينطلق اشعاع γ). لاحظ هنا أن زمن التأخير يحمل معلومات عن عمر النصف (متوسط العمر) للمستوى. وبالتالي فإن دراسة التوزيع الزمني للتأخير يمكننا من تعيين عمر النصف $t_{1/2}$.

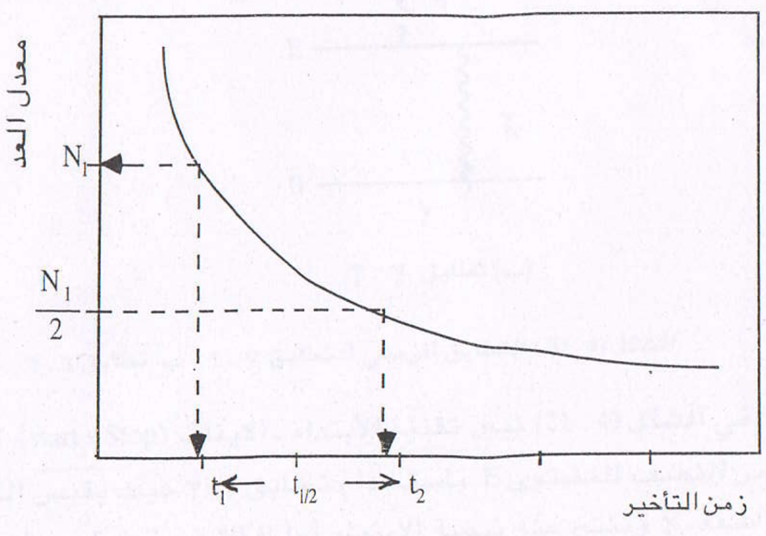


الشكل (4 . 18) التطابق الزمني المتأخر (تطابق β و γ)

أ. تحلل العنصر X إلى العنصر y ومولد وموت مستوى الاثارة E

ب. منظومة التطابق الزمني المتأخر لتعيين عمر النصف (C) للمستوى

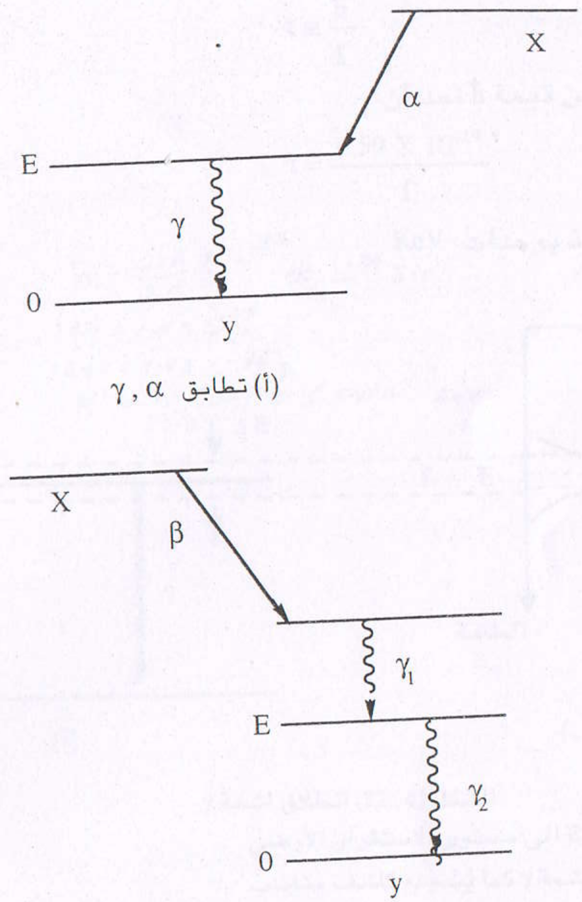
يبين الشكل (4 . 19) التوزيع الزمني لوحدة التأخير كدالة في معدل



الشكل (4 . 19) تعيين عمر النصف باستخدام التطابق الزمني المتأخر

العد حيث يبين المحور الافقي زمن التأخير أما على المحور الرأسي فنبين معدل العد الناتج عن وحدة التأخير ويمكن تعين $t_{1/2}$ بنفس الطريقة المتبعة في الفصل السابق حيث نعين الزمن الذي يهبط فيه معدل العد إلى النصف فيكون هو عمر النصف للمستوى المعني. في هذه التجربة استخدمنا التطابق الزمني بين اشعة β واشعة γ .

كما ويمكن لعنصر معين أن يطلق جسيمات α متحولاً الى عنصر آخر يطلق اشعة γ بعد ذلك وبالمثل فإنه يمكن استخدام التطابق زمني بين جسيمات α واشعة γ لقياس عمر النصف للمستوى المعني وتسمى هذه التقنية: بالتطابق الزمني بين اشعة γ واشعة α. يبين الشكل (4 . 20) شكلاً توضيحياً للتطابق الزمني بين اشعة α , γ (الشكل 4 . 20 أ) حيث يمكن استخدام كاشف لقياس اشعة α وآخر لقياس اشعة γ وبدراسة التطابق الزمني للنبضات الناتجة منهما يمكن ايجاد عمر النصف للمستوى المبين بالشكل (4 .20 أ). يبين الشكل (4 .20.ب) تطابق زمني بين شعاعي γ_2 , γ_1 حيث نجد هنا أن المستوى E ينتج عندما تنطلق إليه اشعة γ_1 ثم يتحلل المستوى إلى مستوى الاستقرار الارضي O مطلقاً اشعاع γ_2 فإذا كان لدينا الأن كاشفان يقيس احدهما γ_1 والآخر γ_2 فإن دراسة التطابق الزمني للنبضات الناتجة منهما تمكننا من قياس عمر نصف المستوى E (الشكل 4 . 20ب).

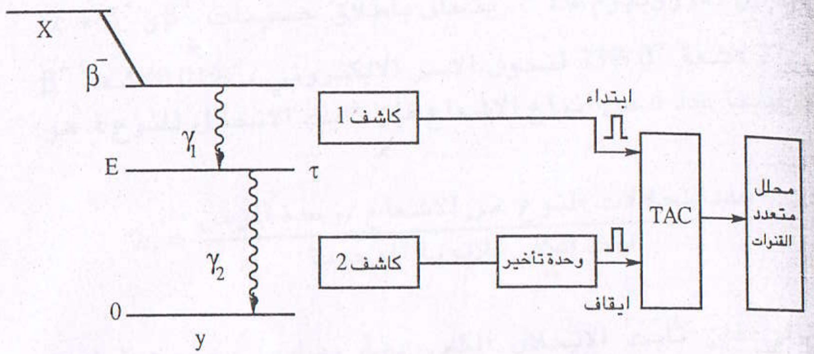


(أ) تطابق γ , α

(ب) تطابق γ , γ

الشكل (4 . 20) التطابق الزمني أ: تطابق α , γ ، ب: تطابق γ , γ

في الشكل (4 . 21) نبين تقنية الأبتداء - الايقاف (start - Stop) لقياس عمر النصف للمستوى E باستخدام تطابق γ , γ حيث يقيس الكاشف 1 اشعة γ_1 وتنتج عنه نبضة الابتداء أما الكاشف 2 فيقيس اشعة γ_2 وينتج عنه نبضة الايقاف فإذا مامرت هذه النبضات إلى جهاز يحول الزمن بين النبضتين (τ) إلى ارتفاع النبضة TAC (Time to Amplitude converters) فإنه يمكننا دراسة التوزيع الزمني بين γ_2, γ_1 كما يسجله المحلل متعدد القنوات ومن ثم تقدير عمر النصف (τ).



الشكل (4 . 21) قياس عمر النصف باستخدام تطابق γ , γ

ب. مبدأ عدم التحديد:

إذا كان لدينا مستوى إثارة طاقته E وعمر النصف له τ فإنه حسب مبدأ عدم التحديد فإن:

$$\Delta E . \tau \approx \hbar \qquad (47 . 4)$$

حيث ΔE هي الخطأ (عدم التحديد) في الطاقة.

تبين المعادلة السابقة أن ΔE تساوي صفراً عندما τ تؤول إلى ما لا نهاية أي أن قيمة الطاقة E تساوي قيمة محددة لا خطأ فيها. ولكن عند قياس الطاقة فإننا نجد أن هناك اتساع Width معين لخط الطاقة كما يسجله كاشف اشعاعي معين. فإذا حدث أنتقال بين مستوى إثارة معين طاقته E ومستوى الاستقرار الارضي (E = 0) فإن الخطأ في الطاقة المقاسة يرجع إلى عدم التحديد الناتج في طاقة هذا المستوى.

يبين الشكل (4 . 22) انطلاق اشعة γ وقياس عدم التحديد في طاقتها وهو اتساع المستوى ويرمز له بالرمز Γ أي أن:

$$\Gamma \tau \cong \hbar$$

ومنها فإن:

$$\tau \cong \frac{\hbar}{\Gamma} \qquad (48.4)$$

وبتعويض عن قيمة $\hbar$ نجد أن:

$$\tau = \frac{6.59 \times 10^{-19}}{\Gamma} \qquad (48'.4)$$

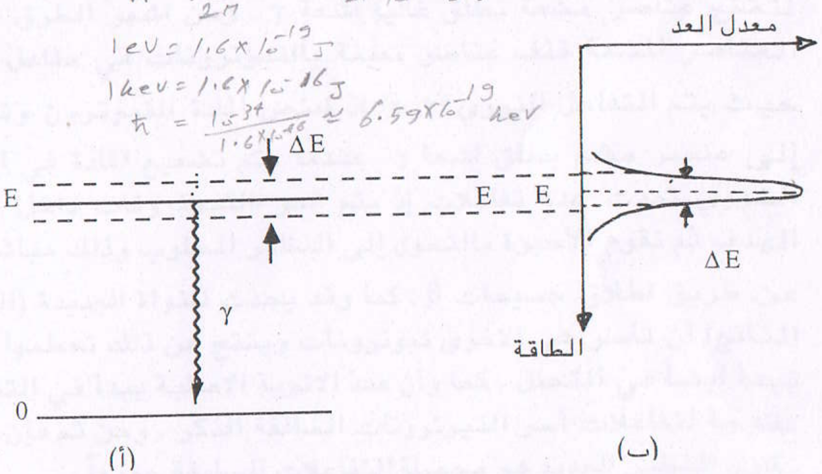
حيث Γ تؤخذ بوحدات KeV

$\hbar = \frac{6.6}{2\pi} \times 10^{-34} \cong 10^{-34}$ J.s

$1eV = 1.6 \times 10^{-19}$ J

$1keV = 1.6 \times 10^{-16}$ J

$\hbar = \frac{10^{-34}}{1.6 \times 10^{-16}} \cong 6.59 \times 10^{-19}$ keV



الشكل (22.4) انطلاق اشعة γ

أ. تحلل المستوى E الى مستوى الاستقرار الأرضي

ب. طيف طاقة أشعة γ كما يسجله كاشف مناسب

يتبين من المعادلة السابقة أنه إذا كانت Γ في حدود Kev فإن τ تقدر بحوالي 10^{-20} ثانية وهذه فترة زمنية صغيرة جداً لايمكن لأي جهاز في الوقت الحاضر أن يقيسها لكننا نستطيع حسابها بتعين Γ التي يمكن للأجهزة الحديثة أن تقيسها بسهولة.

9.4 نسبة التفرع (R) Branching Ratio:

وجد أن بعض النظائر تتحلل باطلاق اكثر من نوع من الاشعاع.

فمثلاً نجد أن الاوروبيوم ^{152}Eu يتحلل باطلاق جسيمات β^+ و β^- + Ec بنسبة 27٪ لاشعة β^- 73% لتحول الاسر الالكتروني ، 0.019٪ لاشعة β^+

فإذا كان لدينا عدد n من انواع الاشعاع فإن ثابت الانحلال للنوع i هو λ_i حيث:

$$\lambda_i = \frac{\text{عدد انحلالات النوع من الاشعاع /وحدة الزمن}}{\text{العدد الكلي للانوية الموجودة}} = \frac{dN/dt}{N}$$

وبالتالي فإن ثابت الانحلال الكلي λ_{Tot} يساوي مجموع ثوابت الانحلال لانواع الاشعاع المختلفة أي أن:

$$\lambda_{Tot} = \lambda_1 + \lambda_2 + ... + \lambda_n \qquad (49.4)$$

وينتج أن:

$$\frac{1}{\tau_{Tot}} = \frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} + ... + \frac{1}{\tau_n} \qquad (50.4)$$

حيث τ_1 هي متوسط عمر النواة التي تطلق الاشعاع وهكذا بالنسبة لباقي متوسطات الاعمار.

مما سبق نستطيع أن نعين نسبة التفرع (R) لأي نوع من انواع الأشعاع الأخرى حيث:

$$R_n = \frac{\lambda_n}{\lambda_{Tot}} \qquad (51.4)$$

حيث λ_n هي ثابت انحلال نوع الاشعاع (n)

لاحظ أن عمر النصف $t_{1/2}$ للاشعاع n يرتبط مع λ_n بالعلاقة:

$$t_{1/2}(n) = \frac{0.693}{\lambda_n} \qquad (52.4)$$

10.4 تحضير النظائر المشعة

هناك استخدامات عديدة للنظائر المشعة في حقول الطب والصناعة والزراعة والابحاث وتكاد النظائر المشعة تدخل في كل منحى من نواحي الحياة المعاصرة وبالاضافة إلى العناصر المشعة الطبيعية يمكن تحضير المئات منها بطرق صناعية عديدة ، ويتم ذلك بالتفاعل النووي بين جسيمات مناسبة واهداف من مواد معينة (انظر الباب السابع) لتنتج عناصر مشعة تطلق غالباً اشعة γ . ومن اشهر الطرق لانتاج العناصر المشعة قذف عناصر معينة بالنيوترونات في مفاعل نووي حيث يتم التفاعل النووي (n, γ) إذ تمتص المادة النيوترون وتتحول إلى عنصر مشع يطلق اشعة γ . عندما يتم تشعيع المادة في المفاعل النووي تحدث عدة تفاعلات إذ يتم اسر النيوترونات داخل النواة الهدف ثم تقوم الأخيرة بالتحول إلى النظير المطلوب وذلك مباشرة أو عن طريق اطلاق جسيمات β . كما وقد يحدث للنواة الجديدة (النظير الناتج) أن تأسر هي الاخرى نيوترونات وينتج عن ذلك تحطمها . وقد تبدأ ايضاً في التحلل . كما وأن عدد الانوية الاصلية يبدأ في التناقص نتيجة لتفاعلات أسر النيوترونات السالفة الذكر . ومن ثم فإن معدل تكون النظير الجديد هو محصلة التفاعلات السابقة جميعاً.

فإذ كان عمر النصف لتحلل β صغيراً أو كان هذا التحلل نادراً فإن فاعلية (A) النظير الناتج يمكن أن تعطى بالعلاقة :

$$A = \frac{N_0\, Ø\, \sigma_T\, \lambda_P}{\lambda_p + Ø\,(\sigma_P - \sigma_T)} \left[e^{-\sigma_T Ø t} - e^{-(\lambda_P + \sigma_P Ø)t}\right] \qquad (53 . 4)$$

حيث:

N_0 . عدد انوية المادة الهدف الابتدائية.

$Ø$ فيض النيوترونات من المفاعل $(n/cm^2.S)$

σ_P , σ_T مساحة مقطع تفاعل أسر النيوترون بواسطة المادة الهدف، النظير الجديد ، على الترتيب .

λ_P ثابت تحلل النظير الجديد .

في المعادلة السابقة تقدر A بعدد الانحلالات/ثانية ، σ بالبارن

يمكن تعريف الفاعلية النوعية (A_s) Specific activity على انها عبارة عن الفاعلية لكل جرام من المادة أي أن:

$$A_s = \frac{A}{m} \qquad (54 . 4)$$

حيث m هي كتلة المادة.

فعندما يكون زمن التشعيع (t) صغيراً وفيض النيوترونات منخفضاً فإنه يمكننا اهمال كلاً من معدل احتراق المادة الهدف واسر النيوترونات بواسطة النظير المتكون، وبالتالي يمكن كتابة معادلة (53. 4) على الشكل التالي:

$$A_s = \frac{0.6\, Ø\, \sigma_T}{3.7 \times 10^{10}\, M}\left(1 - e^{-0.693\frac{t}{\tau}}\right) \qquad (55 . 4)$$

حيث:

M الوزن الذري لمادة الهدف.

τ عمر النصف للنظير الجديد.

t زمن التشعيع في المفاعل .

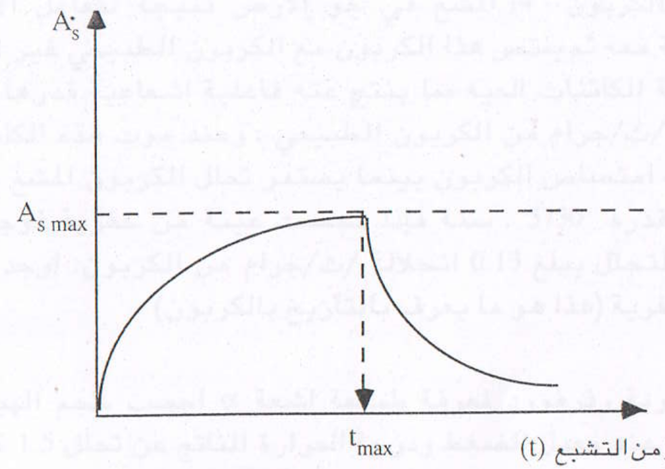
أما A_s فتقدر بوحدة (Ci/g) أي كوري لكل جرام من المادة الهدف.

والمعادلة السابقة هي علاقة عامة يمكن بواسطتها حساب فاعلية أي نظير مشع يمكن تحضيره في المفاعل النووي.

لاحظ أن الفاعلية النوعية يمكن أن تصل إلى قيمة عظمى A_{smax} عندما يكون زمن التشعيع t كبيراً، إذ أن المعادلة الأخيرة تؤول إلى العلاقة:

$$A_{smax} = \frac{0.6\, Ø\, \sigma_T}{3.7 \times 10^{10}\, M}\ Ci/g \qquad (56 . 4)$$

وعند رسم العلاقة بين زمن التشعيع t والفاعلية النوعية للنظير الناتج نجد أنها تأخذ الشكل (4 . 23). حيث نجد أن الفاعلية النوعية تتزايد مع الزمن حتى تصل إلى القيمة العظمى عند زمن t_{max} ثم تأخذ بعد ذلك في النقصان أسياً مع الزمن حسب قاعدة التحلل العامة. لاحظ أنه لا يلزمنا زمناً طويلاً كي تصل الفاعلية النوعية إلى قيمتها العظمى.



الشكل (2 . 23) انتاج النظائر المشعة عن طريق القذف النووي

ويتبين ذلك جيداً من معادلة (4 . 55) التي يمكن كتابتها الأن بدلالة معادلة (4 . 56) حيث:

$$A_s = A_{smax}\left(1 - e^{-0.693\,\frac{t}{\tau}}\right) \qquad (57 . 4)$$

فعندما $t = \tau$ فإن : $A_s \cong 0.5\, A_{smax}$

وعندما $t = 4\,\tau$ فإن $A_s = 0.94\, A_{smax}$

وبالتالي فإنه كي نصل إلى الفاعلية القصوى لايلزمنا التشعيع لاكثر من زمن يساوي عدة مضاعفات من عمر النصف للنظير المطلوب تحضيره.

كما ونلاحظ من معادلة (4 . 56) أن الفاعلية القصوى تتناسب مباشرة مع الفيض النيوتروني وبالتالي للحصول على فاعلية عالية فإنه يلزمنا تشعيع المادة في فيض نيوتروني عالي .

مسائل على الباب الرابع

1) تخرج اشعة α من مصدر مشع بطاقة قدرها 5.2 م أف. ثم تدخل عمودياً إلى مجال مغناطيسي شدته 0.5 تسلا. احسب نصف قطر مسارها.

2) احسب الفاعلية الناتجة عن جرام واحد من الكوبلت - 60 $(\tau = 5.27\ y)$

3) اذاكان لديك 5g من الذهب (^{196}Au) الذي يبلغ عمر النصف له 6.28 يوماً اوجد كتلة الذهب المتبقية بعد شهر واحد. ثم احسب ايضاً عدد الانوية عند مرور شهر واحد.

4) ينتج السترانشيوم - 90 عن الانشطار النووي فإذا كان عمر النصف له 28 سنة. اوجد نسبة السترانشيوم المتبقية بعد مائة سنة من انفجار قنبلة نووية.

5) يحتوي جسم الانسان على 15٪ من وزنه كربون، 1٪ بوتاسيوم، فإذا كان الكربون المشع (^{14}C) يطلق 0.25 جسيم β /ساعة /جرام من الكربون الموجود في جسم الانسان، بينما يحتوي البوتاسيوم على 0.011٪ من البوتاسيوم - 40 المشع الذي يطلق اشعاع β بعمر نصف قدره 1.27×10^9 سنة. اوجد الفاعلية الطبيعية مقدره بالكوري في جسم انسان تبلغ كتلته 60 كجم.

6) قبل عام 1951، كانت مركبات الكربون الموجودة في الطبيعة تطلق جسيمات β بمعدل قدره 15.3 لكل دقيقة ولكل غرام من الكربون المتواجد في الطبيعة وذلك نظراً لوجود (^{14}C) المشع بعمر نصف قدره 5730 سنة. ومنذ عام 1951 بدأت هذه النسبة في التزايد نظراً للتجارب الخاصة بالاسلحة النووية. اوجد نسبة وجود الكربون المشع فى الطبيعة بالنسبة للكربون العادى.

7) ينتج الكربون - 14 المشع في جو الأرض نتيجة لتفاعل الاشعة الكونية معه ثم يمتص هذا الكربون مع الكربون الطبيعي غير المشع بواسطة الكائنات الحيه مما ينتج عنه فاعلية اشعاعية قدرها 0.16 انحلاله/ث/جرام من الكربون الطبيعي . وعند موت هذه الكائنات يتوقف امتصاص الكربون بينما يستمر تحلل الكربون المشع بعمر نصف قدره 5730 . سنة فإذا فحصت عينة من حفرية فوجد أن معدل التحلل يبلغ 0.13 انحلالة /ث/جرام من الكربون. اوجد عمر هذه الحفرية (هذا هو ما يعرف بالتأريخ بالكربون) .

8) في تجربة رذرفورد لمعرفة طبيعة اشعة α احسب حجم الهيليوم المتكون عند معدل الضغط ودرجة الحرارة الناتج عن تحلل 1.5 كوري من الرادون - 222 بعد سبعة أيام.

9) يحتوي خام اليورانيوم على 1٪ من وزنه ^{238}U احسب كتلة الراديوم 226 الموجود في كمية من الخام كتلتها 500 كيلو جرام وذلك عند حدوث الاتزان الاشعاعي بين اليورانيوم والراديوم .

10) يتحلل الفوسفور (^{32}P) باطلاق جسيمات β^- (مشع بيتا نقي) متحولاً إلى الكبريت (^{32}S) بعمر نصف قدره 14.28 يوماً. فإذا حضرت عينة فاعليتها 1كوري احسب كتلة الكبريت الناتج بعد مرور اسبوع واحد على هذه العينة.

11) في التحول التالي:

$$^{239}U \xrightarrow[\beta^-]{23.5\ m} {}^{239}Np \xrightarrow[\beta^-]{2.35\ d} {}^{239}Pu \xrightarrow[\alpha]{2.41 \times 10^4\ y} {}^{235}U$$

احسب :

أ) الفاعلية الناتجة عن البلوتونيوم بعد مرور بضعة اسابيع اذا بدأنا بعينة نقية من اليورانيوم - 239 فاعليتها 0.5 كوري.

ب) كتلة البلوتونيوم المتواجدة عند هذه المدة.

(يستخدم هذا التحلل لتحضيرالبلوتونيوم من اليورانيوم الطبيعي في المفاعلات النووية الانتاجية (انظر الباب الخامس

12) في التحول التالي:

$$^{233}Th \xrightarrow[\beta^-]{22.3\ m} {}^{233}Pa \xrightarrow[\beta^-]{27.0\ d} {}^{233}U \xrightarrow[\alpha]{1.59 \times 10^5\ y} {}^{229}Th$$

احسب :

أ) الفاعلية الناتجة عن اليورانيوم بعد مرور بضعة اسابيع اذا بدأنا بعينة نقية من الثوريوم فاعليتها 1 كوري.

ب) كتلة اليورانيوم المتواجدة عند هذه المدة.

(يستخدم هذا التحلل لتحضير اليورانيوم في المفاعلات النووية الانتاجية (انظر الباب الخامس عشر)) .

13) في التحول التالي (انظر سلسلة اليورانيوم):

$$^{226}Ra \xrightarrow[\alpha]{1620\ y} {}^{222}Rn \xrightarrow[\alpha]{3.83\ d} {}^{218}Po \ldots$$

اذا كانت لديك عينة من الراديوم نقية تبلغ كتلتها ميليجرام واحد.

احسب :

أ) كتلة الرادون المتكونة بعد مرور يوم كامل.

ب) الفاعلية الاشعاعية للرادون.

جـ) حجم الرادون المتكون عند م. ض. د. (معدل الضغط ودرجة الحرارة) .

14) يعتبر اليورانيوم الطبيعي خليطاً من ^{235}U $(\tau = 7.03 \times 10^8\ y)$ واليورانيوم ^{238}U $(\tau = 4.46 \times 10^9\ y)$ بنسبة 0.7٪ فإذا كان عمر الارض يبلغ 4×10^9 سنة. احسب هذه النسبة عند بدء تكون الأرض.

15) يحتوي مصدر مشع على خليط من مادتين مشعتين عمر النصف لاحداهما شهر واحد بينما يبلغ عمر النصف للأخرى شهر ونصف . فإذا كانت فاعليتيهما متساويتين في البداية. اوجد فاعلية كل منهما بعد مرور شهرين.

16) يبلغ عمر النصف للصوديوم (^{22}Na) 2.58 سنة ويتحلل إما باطلاق جسيمات β^+ (بنسبة 11٪) أو بالاسر الالكتروني (بنسبة 89٪). أوجد

عمر النصف الجزئي لكل من النمطين السابقين.

17) وضعت شريحة من الذهب ^{197}Au كتلتها 0.06 جرام في احدى قنوات مفاعل نووي حيث عرضت لاشعاع النيوترونات لمدة نصف ساعة. فإذا كان الذهب يمتص النيوترون ويتحول إلى النظير 198 الذي يطلق اشعاع β بعمر نصف قدره 2.69 يوماً. وعند فحص العينة بعد ساعتين من اخراجها من المفاعل وجد أنها تطلق جسيمات β بمعدل قدره $2 X 10^4$ كل دقيقة. اوجد فيض النيوترونات في المفاعل اذا علمت أن مساحة مقطع الامتصاص للنيوترونات يبلغ 98.8 بارن.

18) يتحول الاوروبيوم ^{151}Eu إلى النظير ^{152}Eu عند تعرضه لفيض من النيوترونات حيث يتحلل بعمر نصف قدره 13 سنة إلى كل من الجادولنييوم والسميريوم باطلاق β^- و $EC + \beta^+$ على الترتيب.
اوجد زمن التشعيع اللازم للحصول على فاعلية قدرها $10\ \mu Ci$ من ^{152}Eu اذا كان فيض النيوترونات يبلغ $1.5 X 10^{12}$ نيوترون/سم2/ث .

19) احسب الطاقة المتحررة عن التحلل الكامل لكتلة من الكوبلت - 60 قدرها 0.05 جرام إذا علمت أن كل تحلله ينتج عنها جسيمات β بطاقة قدرها 0.31 واشعة γ بطاقة قدرها 2.5 م أف. (عمر النصف للكوبلت 60 يساوي 5.2 سنة) .

20) في التحلل المتلاحق:

$$^{166}_{70}Yb \xrightarrow[EC]{56.7\ h} {}^{166}_{69}Tm \xrightarrow[EC,\ \beta^+]{7.7} {}^{166}_{68}Er$$

اوجد :

أ) الزمن الذي تبلغ عنده فاعلية الثوليوم قيمتها العظمى.

ب) فاعلية اليتريبيوم بعد مرور ثلاثة ايام.

الباب الخامس

الكتل النووية والإستقرار النووي

1.5 العلاقة بين الكتلة والطاقة :

بينا في الباب الأول أن كتلة الجسم تأخذ في الزيادة وذلك عندما تقترب سرعته من سرعة الضوء واستنتجنا أن طاقة حركة الجسم (T) تعطى بالعلاقة (25.1) أي أن :

$$T = (m - m_0)\, c^2$$

حيث m ، m_0 هما كتلة الجسم النسبية والسكونية على الترتيب .

وهذا يعني أنه كلما ازدادت طاقة حركة الجسم فإن كتلته تزداد وذلك عندما تقترب سرعته من سرعة الضوء . فإذا ما وصلت سرعة الجسم الى سرعة الضوء - نفترض هذا نظرياً - فإن كتلة الجسم تصبح لا نهائية (وذلك حسب معادلة 20.1) . وهذا يعني أنه يلزمنا أن نمده بطاقة لانهائية ، وهذا غير عملي . يمكن حالياً تعجيل الكثير من الجسيمات وخاصة الخفيفة الى سرعات كبيرة باستخدام المعجلات المختلفة حيث تبدأ في الظهور تعقيدات فنية كبيرة في تصميم هذه الاجهزة وذلك عندما تقترب سرعات الجسيمات المعجلة من سرعة الضوء .

كما بينا في المعادلة (22.1) أن هناك علاقة تربط بين الطاقة الكلية للجسم (E) وكتلة (m) حسب معادلة اينشتاين المعروفة : -

$$E = mc^2$$

حيث c هي سرعة الضوء .

تكتسب العلاقة بين الطاقة والكتلة اهمية خاصة عند الحديث عن الكتل النووية والاستقرار النووي . إذ سوف يتضح لنا جلياً كيف تتحول الكتلة إلى نوع من الطاقة كما وتتحول الطاقة بدورها إلى كتلة .

2.5 الكتل النووية :

عند الحديث عن كتلة النواة