كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء اشعاعية

المحاضرة : الثانية/نظري/

{{ A to Z مكتبة }}

Facebook Group : A to Z مكتبة

النشاط الاشعاعي

مقدمة:

النشاط الإشعاعي، الذي اكتشفه هنري بيكريل في عام 1986، هو عملية تتحول فيها النواة الأم غير المستقرة تلقائياً إلى واحدة أو عدة نوى وليدة تكون أكثر استقراراً من النواة الأم بفضل امتلاكها طاقات ارتباط أكبر لكل نواة مقارنة بالنواة الأم. قد تكون النواة الوليدة أيضاً غير مستقرة وستتحلل أكثر من خلال سلسلة من التحللات الإشعاعية حتى يتم الوصول إلى تكوين نووي مستقر. عادةً ما يصاحب التحلل الإشعاعي انبعاث جسيمات نشطة يمكن استخدامها في العلوم والصناعة والزراعة والطب.

- التحلل النووي، المعروف أيضًا باسم التفكك النووي أو التحول النووي أو التحلل الإشعاعي، هو ظاهرة إحصائية.
- القوانين الأسية التي تحكم التحلل النووي ونمو المواد المشعة تم صياغتها لأول مرة بواسطة إرنست رذرفورد وفريدريك سودي في عام 1902 ثم تم تحسينها بواسطة هاري باتيمان في عام 1910.
- المادة المشعة التي تحتوي على ذرات من نفس البنية غالبًا ما يشار إليها بالنظير المشع. الذرات المشعة، مثل أي بنية ذرية أخرى، تتميز بالعدد الذري Z ورقم الكتلة الذرية A
- يتضمن التحلل الإشعاعي انتقالًا من الحالة الكمومية للنظير الأصلي (الأم) إلى الحالة الكمومية للنظير الناتج (الابنة). الفرق في الطاقة بين المستويين الكموميين المعنيين في الانتقال الإشعاعي يُشار إليه بطاقة التحلل. يتم انبعاث طاقة التحلل إما في شكل إشعاع كهرومغناطيسي (عادة أشعة جاما) أو في شكل طاقة حركية لمنتجات التفاعل.
- يعتمد نمط التحلل الإشعاعي على النظير المعني.
- جميع عمليات التحلل الإشعاعي تحكمها نفس الصيغة العامة التي تعتمد على تعريف النشاط A(t) وعلى ثابت مميز لكل عملية تحلل إشعاعي: ثابت التحلل الإشعاعي الكلي λبأبعاد الزمن العكسي، عادة فيs^{-1}.1
- ثابت التحلل λ مستقل عن عمر الذرة المشعة وهو مستقل أساسًا عن الظروف الفيزيائية مثل درجة الحرارة والضغط والحالة الكيميائية لبيئة الذرة. أظهرت القياسات الدقيقة أن λ يمكن أن يعتمد قليلاً على البيئة الفيزيائية. على سبيل المثال، عند الضغط الشديد أو في درجات الحرارة المنخفضة للغاية، يظهر النظير المشع تكنيسيوم-99 mتغيرًا جزئيًا في λ بترتيب 10^{-4} 4 مقارنة بالقيمة عند درجة حرارة الغرفة (293 كلفن) والضغط القياسي (101.3 كيلوباسكال).
- ثابت التحلل الإشعاعي الكلي λ مضروبًا في فترة زمنية تكون أصغر بكثير من$^{1}/_{\lambda}$ يمثل احتمال أن تتحلل أي ذرة معينة من مادة مشعة تحتوي على عدد كبير N(t) من الذرات المشعة المتطابقة في تلك الفترة الزمنية. يتم افتراض أن λ مستقل عن البيئة الفيزيائية للذرة المعينة.

النشاط الإشعاعي A(t) لمادة مشعة تحتوي على عدد كبير N(t) من الذرات المشعة المتطابقة يمثل العدد الإجمالي للتحللات (التفككات) لكل وحدة زمنية ويُعرّف كمنتج بين N(t) وλ ، أي:

$$\mathscr{A}(t) = \lambda N(t) \ .$$

- وحدة النشاط في النظام الدولي للوحدات (SI) هي البكريل (Bq) وتُعطى كـ $1\,Bq = 1\,s^{-1}$ البكريل والهرتز كلاهما يعبران عن s^{-1} ، لكن الهرتز يعبر عن تردد الحركة الدورية، بينما يعبر البكريل عن النشاط.
- الوحدة القديمة للنشاط، الكوري (Ci) ، كانت تُعرّف في البداية كنشاط 1 جرام من الراديوم-226 وتُعطى كـ $1\ \text{Ci} = 3.7\times10^{10}\ s^{-1}$. تم قياس نشاط 1 جرام من الراديوم-226 لاحقًا ليكون $3.665 * 10^{10}\ s^{-1}$ ؛ ومع ذلك، تم الحفاظ على تعريف الكوري عند $3.7 * 10^{10}\ s^{-1}$ القيمة الحالية لنشاط 1 جرام من الراديوم-226 هي 0.988 Ci أو $3.66 * 10^{10}\ Bq$.
- البكريل (Bq) والكوري (Ci) مرتبطان كما يلي:

$$1\ \text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}\ \text{Bq}.$$

- النشاط النوعي a يُعرّف كنشاط A لكل وحدة كتلة M ، أي:

$$a = \frac{\mathscr{A}}{M} = \frac{\lambda N}{M} = \frac{\lambda N_{\text{A}}}{A}\ ,$$

حيث N_A هو عدد أفوجادرو (6.022×10^{23} ذرة/جرام-ذرة). يعتمد النشاط النوعي a على ثابت التحلل λ وعلى العدد الكتلي الذري A للذرة المشعة. وحدات النشاط النوعي هي Bq/kg (وحدة النظام الدولي) و Ci/g (الوحدة القديمة).

ملاحظة: الكتلة بالغرامات التي تساوي الكتلة الذرية المتوسطة لعنصر كيميائي تحتوي بالضبط $6.022 * 10^{23}$ ذرة و هو عدد أوفوغادرو N_A. ويكون عدد الذرات في ا غرام من المادة $\frac{N_a}{m}$ يساوي النسبة التالية:

$$\frac{N_a}{M} = \frac{N_A}{A}$$

تحلل النواة المشعة إلى نواة مستقرة

أبسط أشكال التحلل الإشعاعي يتميز بتحلل نواة مشعة P بثابت تحلل λ_P إلى نواة ابنة مستقرة D ، أي:

$$\text{P} \xrightarrow{\lambda_{\text{P}}} \text{D}\ .$$

معدل تناقص عدد النوى المشعة $N_p(t)$ يساوي النشاط الإشعاعي $A_P(t)$ عند الزمنt ، أي:

$$\frac{dN_{\text{P}}(t)}{dt} = -\mathscr{A}_{\text{P}}(t) = -\lambda_{\text{P}} N_{\text{P}}(t)\ .$$

يمكن إعادة كتابة المعادلة التفاضلية الأساسية لـ $N_P(t)$ في صيغة تكاملية عامة للحصول على:

$$\int_{N_{\mathrm{P}}(0)}^{N_{\mathrm{P}}(t)} \frac{dN_{\mathrm{P}}(t)}{N_{\mathrm{P}}} = -\int_0^t \lambda_{\mathrm{P}} dt \ ,$$

حيث $N_P(0)$ هو عدد النوى المشعة عند الزمن $t = 0$.

بافتراض أن λ_P ثابت، يمكننا كتابة العلاقة السابقة كما يلي:

$$\ln \frac{N_{\mathrm{P}}(t)}{N_{\mathrm{P}}(0)} = -\lambda_{\mathrm{P}} t$$

أو

$$N_{\mathrm{P}}(t) = N_{\mathrm{P}}(0) e^{-\lambda_{\mathrm{P}} t} \ .$$

يمكن الآن التعبير عن نشاط النوى المشعة P عند الزمن t كما يلي:

$$\mathscr{A}_{\mathrm{P}}(t) = \lambda_{\mathrm{P}} N_{\mathrm{P}}(t) = \lambda_{\mathrm{P}} N_{\mathrm{P}}(0) e^{-\lambda_{\mathrm{P}} t} = \mathscr{A}_{\mathrm{P}}(0) e^{-\lambda_{\mathrm{P}} t} \ ,$$

حيث $A_P(0) = \lambda_P \, N_P(0)$ هو النشاط الابتدائي للمادة المشعة.

ينطبق قانون التحلل السابق على جميع النويدات المشعة بغض النظر عن طريقة تحللها؛ ومع ذلك، فإن ثابت التحلل λ_P يختلف لكل نويدة مشعة P وهو أهم خاصية تعريفية للنويدات المشعة.

عندما يكون هناك أكثر من طريقة تحلل متاحة لنواة مشعة (تشعب)، فإن ثابت التحلل الكلي λ هو مجموع ثوابت التحلل الجزئية λi لكل طريقة:

$$\lambda = \sum_{\mathrm{i}} \lambda_{\mathrm{i}} \ .$$

عمر النصف $(t_{1/2})_P$ لمادة مشعة P هو الزمن الذي يتناقص فيه عدد النوى المشعة للمادة إلى نصف القيمة الابتدائية $N_P(0)$ الموجودة عند الزمن $t = 0$. يمكننا أيضاً القول إنه في زمن عمر النصف يتناقص نشاط المادة المشعة إلى نصف قيمته الابتدائية، أي:

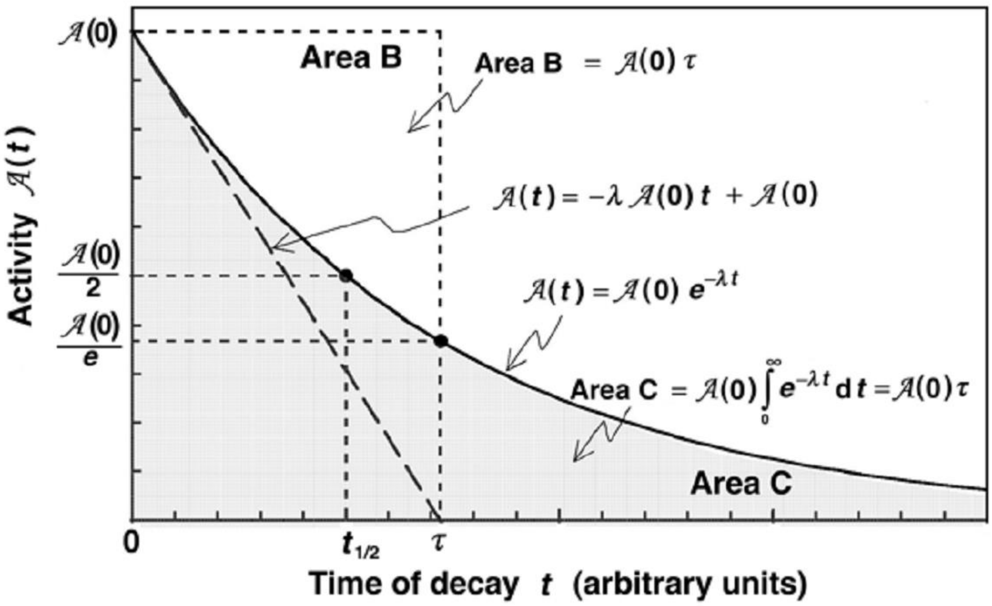
$$N_{\mathrm{P}}[t = (t_{1/2})_{\mathrm{P}}] = \frac{1}{2} N_{\mathrm{P}}(0) = N_{\mathrm{P}}(0) e^{-\lambda (t_{1/2})_{\mathrm{P}}} \ .$$

من العلاقة السابقة نحصل على العلاقة التالية بين ثابت التحلل λ_P ونصف العمر $(t_{1/2})_P$

$$\lambda_{\mathrm{P}} = \frac{\ln 2}{(t_{1/2})_{\mathrm{P}}} = \frac{0.693}{(t_{1/2})_{\mathrm{P}}} \ .$$

يمكن أن يتراوح العمر الفعلي لأي نواة مشعة من 0 إلى ∞، ومع ذلك، بالنسبة لعدد كبير من النوى المشعة N_P يمكننا تعريف العمر المتوسط τ_P لمادة مشعة P الذي يساوي مجموع أعمار جميع الذرات مقسومًا على العدد الابتدائي للنوى المشعة. بالتالي يُمثل العمر المتوسط متوسط العمر المتوقع لجميع النوى في المادة المشعة P عند الزمن$t = 0$ ؛ أي :

$$\mathscr{A}_{\mathrm{P}}(0)\tau_{\mathrm{P}} = \mathscr{A}_{\mathrm{P}}(0)\int\limits_{0}^{\infty} e^{-\lambda_{\mathrm{P}} t} dt = \frac{\mathscr{A}_{\mathrm{P}}(0)}{\lambda_{\mathrm{P}}} = N_{\mathrm{P}}(0) \ ,$$



الشكل 1 النشاط الاشعاعي بدلالة الزمن من أجل تفكك بسيط لنواة أم نشطة الى نواة بنت مستقرة.

Fig. 8.1. Activity $\mathscr{A}(t)$ plotted against time t for a simple decay of a radioactive parent into a stable daughter. The activity follows the relationship given in (8.8) and (8.15). The concepts of half-life $t_{1/2}$ and mean-life τ are also illustrated. The area under the *exponential decay curve* from 0 to ∞ is equal to $\mathscr{A}(0)\tau$ where $\mathscr{A}(0)$ is the initial activity of the parent nuclei. The slope of the tangent to the *decay curve* at $t = 0$ is equal to $-\lambda\mathscr{A}_{\mathrm{P}}(0)$ and this tangent crosses the abscissa axis at $t = \tau$

يوضح الشكل 1 النشاط $A_{(t)}$ مرسوماً بدلالة الزمن t من أجل تفكك بسيط لنواة أم نشطة اشعاعياً الى نواة بنت مستقرة.

يرتبط ثابت التحلل λ_P و متوسط العمر τ_P بالعلاقة التالية:

$$\tau_{\mathrm{P}} = \frac{1}{\lambda_{\mathrm{P}}} \ .$$

يمكن أيضًا تعريف متوسط العمر τ_P على أنه الوقت المطلوب لعدد الذرات المشعة أو نشاطها للانخفاض إلى
$1/_e = 0.368$ من قيمتها الأولية NP(0) أو نشاطها الاشعاعي Ap(0) بالترتيب.

كما أن متوسط العمرτ_P و نصف العمر يرتبطان مع بعضهما بالعلاقة:

$$\tau_{\mathrm{P}} = \frac{1}{\lambda_{\mathrm{P}}} = \frac{(t_{1/2})_{\mathrm{P}}}{\ln 2} = 1.44(t_{1/2})_{\mathrm{P}} \ .$$

مثال نموذجي للتحلل الاشعاعي من أجل شروط بدئية $A_P(t=0) = A_P(0)$ تم توضيحه في الشكل 1 برسم النشاط الاشعاعي بدلالة الزمن:

$$\mathcal{A}_{\mathrm{P}}(t) = \mathcal{A}_{\mathrm{P}}(0) e^{-\lambda_{\mathrm{P}} t} \ .$$

يتميز المنحني في الشكل 1 بالخصائص التالية:

1- المساحة تحت المنحني للنشاط الاشعاعي بدلالة الزمن من أجل $0 \le t \le \infty$ تُعطى بالعلاقة التالية:

$$\int_0^\infty \mathcal{A}_{\mathrm{P}}(t) dt = \mathcal{A}_{\mathrm{P}}(0) \int_0^\infty {}^{-\lambda_{\mathrm{P}} t} dt$$
$$= \frac{\mathcal{A}_{\mathrm{P}}(0)}{\lambda_{\mathrm{P}}} = \mathcal{A}_{\mathrm{P}}(0)\tau_{\mathrm{P}} = N_{\mathrm{P}}(0) \ ,$$

النتيجة هي العدد الأولي للنوى النشطة اشعاعياً في الزمن $t = 0$

2- العدد الكلي للنوى النشطة اشعاعياً الموجودة في أي زمن t > 0 يساوي النشاط الاشعاعي$A_P(t)$ مضروباً بمتوسط العمر τ.

3- ميل المماس لمنحني التفكك عند الزمن t يُعطى بالعلاقة:

$$\frac{d\mathcal{A}_{\mathrm{P}}(t)}{dt} = -\lambda_{\mathrm{P}} \mathcal{A}_{\mathrm{P}}(0) e^{-\lambda_{\mathrm{P}} t} \ ,$$

حيث أن ميل المماس عن t=0 يساوي $-\lambda_P A_P(0)$

التفكك وفق سلسلة اشعاعية:

تفكك أم- بنت- حفيدة مستقرة:

يمكن أن يحدث تفكك اشعاعي أكثر تعقيداً من الحالة البسيطة السابقة، حيث يمكن أن تتفكك نواة أم نشطة اشعاعياً تمتلك ثابت تفكك λ_P الى نواة بنت غير مستقرة، وبدورها النواة البنت تتفكك بثابت λ_D الى نواة حفيدة مستقرة.

$$\mathrm{P} \xrightarrow{\lambda_\mathrm{P}} \mathrm{D} \xrightarrow{\lambda_\mathrm{D}} \mathrm{G}\ .$$

تغير عدد النوى البنت خلال واحدة الزمن $dN_D(t)/dt$ يساوي الى حاصل عدد النوى الأم المتفككة في اللحظة t مطروحاً منه عدد النوى البنت التي تتفكك في اللحظة t:

$$dN_\mathrm{D}/dt = \lambda_\mathrm{P} N_\mathrm{P}(t) - \lambda_\mathrm{D} N_\mathrm{D}(t) = \lambda_\mathrm{P} N_\mathrm{P}(0)\, e^{-\lambda_\mathrm{P} t} - \lambda_\mathrm{D} N_\mathrm{D}(t)$$

سنرمز لهذه العلاقة التفاضلية ب *

حيث $N_P(0)$ هو عدد النوى الأم في اللحظة t=0 . سنعتبر أنه في الشروط البدئية $N_P(t=0) = N_P(0)$ ، والنوى الأم ستتفكك وفق العلاقة :

$$N_\mathrm{P}(t) = N_\mathrm{P}(0)\, e^{-\lambda_\mathrm{P} t}\ .$$

سنحاول إيجاد علاقة تُعطي عدد النوى البنت في أي لحظة زمنية t ، سنفترض أنه في الشروط البدئية t=0 لايوجد تشكل لأي نواة بنت.

$$N_\mathrm{D}(t=0) = N_\mathrm{D}(0) = 0\ .$$

ان حل المعادلة التفاضلية * يمتلك حل عام من الشكل:

$$N_\mathrm{D}(t) = N_\mathrm{P}(0) \left\{ p e^{-\lambda_P t} + d e^{-\lambda_D t} \right\}\ ,$$

حيث p و d هي ثوابت يمكن تحديدها باتباع الخطوات التالية:

1- نشتق العلاقة بالنسبة للزمن فنحصل على العلاقة التالية:

$$\frac{dN_{\mathrm{D}}}{dt} = N_{\mathrm{P}}(0)\left\{-p\lambda_{\mathrm{P}}e^{-\lambda_{\mathrm{P}}t} - d\lambda_{\mathrm{D}}e^{-\lambda_{\mathrm{D}}t}\right\} .$$

2- بالتعويض عن $N_D(t)$ و $\frac{dN_D}{dt}$ في العلاقة * وإعادة الترتيب نجد:

$$e^{-\lambda_{\mathrm{P}}t}\left\{-p\lambda_{\mathrm{P}} - \lambda_{\mathrm{P}} + p\lambda_{\mathrm{D}}\right\} = 0 .$$

3- المقدار بين قوسين يجب أن يساوي الصفر حتى تتحقق العلاقة السابقة. ومنه نستنتج قيمة p:

$$p = \frac{\lambda_{\mathrm{P}}}{\lambda_{\mathrm{D}} - \lambda_{\mathrm{P}}} .$$

4- المعامل d يتعلق بالشروط البدئية للعدد N_D في اللحظة t=0

$$N_{\mathrm{D}}(t=0) = N_{\mathrm{D}}(0) = 0 .$$

وبالتعويض في العلاقة

$$N_{\mathrm{D}}(t) = N_{\mathrm{P}}(0)\left\{pe^{-\lambda_P t} + de^{-\lambda_D t}\right\} ,$$

نجد:

$$p + d = 0$$

وبالتعويض عن قيمة p نجد:

$$d = -p = -\frac{\lambda_{\mathrm{P}}}{\lambda_{\mathrm{D}} - \lambda_{\mathrm{P}}} .$$

وبالتالي يُمكن كتابة عدد النوى البنت في أي لحظة زمنية t على الشكل:

$$N_{\mathrm{D}}(t) = N_{\mathrm{P}}(0)\frac{\lambda_{\mathrm{P}}}{\lambda_{\mathrm{D}} - \lambda_{\mathrm{P}}}\left\{e^{-\lambda_{\mathrm{P}}t} - e^{-\lambda_{\mathrm{D}}t}\right\} .$$

النشاط الاشعاعي للنواة البنت $A_D(t) = N_D(t)\lambda_D$ وبضرب العلاقة السابقة ب λ_D نجد:

$$\begin{aligned}\mathscr{A}_{\mathrm{D}}(t) &= \frac{N_{\mathrm{P}}(0)\lambda_{\mathrm{P}}\lambda_{\mathrm{D}}}{\lambda_{\mathrm{D}}-\lambda_{\mathrm{P}}}\left\{e^{-\lambda_{\mathrm{P}}t}-e^{-\lambda_{\mathrm{D}}t}\right\}\\ &= \mathscr{A}_{\mathrm{P}}(0)\frac{\lambda_{\mathrm{D}}}{\lambda_{\mathrm{D}}-\lambda_{\mathrm{P}}}\left\{e^{-\lambda_{\mathrm{P}}t}-e^{-\lambda_{\mathrm{D}}t}\right\} =\\ &= \mathscr{A}_{\mathrm{P}}(0)\frac{1}{1-\frac{\lambda_{\mathrm{P}}}{\lambda_{\mathrm{D}}}}\left\{e^{-\lambda_{\mathrm{P}}t}-e^{-\lambda_{\mathrm{D}}t}\right\}\\ &= \mathscr{A}_{\mathrm{P}}(t)\frac{\lambda_{\mathrm{D}}}{\lambda_{\mathrm{D}}-\lambda_{\mathrm{P}}}\left\{1-e^{-(\lambda_{\mathrm{D}}-\lambda_{\mathrm{P}})t}\right\},\end{aligned}$$

ومن هذه العلاقة يمكن حساب النشاط الاشعاعي للنواة البنت $A_D(t) = N_D(t)\lambda_D$ في أي لحظة زمنية t .

الزمن المميز:

ان علاقة النشاط الاشعاعي للنواة البنت يُبين أن $A_D(t)$ يساوي الصفر عندما t=0 (الشروط البدئية) و عندما $t = \infty$ (حيث تتفكك كل النوى الأم والبنت)، وهذا يفترض مرور $A_D(t)$ بقيمة عظمى عند زمن يُسمى بالزمن المميز $(t_{max})_D$) من أجل $\lambda_P \neq \lambda_D$. ويتم تحديد الزمن المميز بوضع مشتق النشاط الاشعاعي للنواة البنت في اللحظة $(t_{max})_D$) = t مساوياً للصفر:

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

ومنه نحصل:

$$\lambda_{\mathrm{P}} e^{-\lambda_{\mathrm{P}}(t_{\max})_{\mathrm{D}}} = \lambda_{\mathrm{D}} e^{-\lambda_{\mathrm{D}}(t_{\max})_{\mathrm{D}}}$$

$$(t_{\max})_{\mathrm{D}} = \frac{\ln\frac{\lambda_{\mathrm{P}}}{\lambda_{\mathrm{D}}}}{\lambda_{\mathrm{P}}-\lambda_{\mathrm{D}}}\ .$$

حيث أن هذه العلاقة تخضع للشروط البدئية في اللحظة t=0

$$\mathscr{A}_{\mathrm{P}}(t=0) = \mathscr{A}_{\mathrm{P}}(0) \quad \text{and} \quad \mathscr{A}_{\mathrm{D}}(t=0) = 0$$

التوازن الاشعاعي:

التوازن الاشعاعي هو عدم تغير نسب عدد النوى المشعة في العينة الواحدة بمرور الزمن.
ونجد أن التوازن الاشعاعي بين أعضاء السلسة الاشعاعية يحدث عندما يتساوى معدل تغير عدد النوى لكل نظير بالنسبة للزمن مع النظائر الأخرى:

$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_2}{dt} = \frac{dN_3}{dt}$$

نميز حالتين من التوازن الاشعاعي: التوازن الانتقالي والتوازن الأبدي.

- التوازن الاشعاعي الانتقالي:

و يحدث هذا التوازن بين النوى الأم والنوى الوليدة اذا كان عمر النصف للنواة الأم كبيراً نسبياً مقارنةً بعمر النصف للنواة الوليدة:

$$T_{\frac{1}{2}}(P) > T_{\frac{1}{2}}(D)$$

أي: $\lambda_P < \lambda_D$

بشرط: ألا يقترب λ_P من الصفر.

بالعودة الى علاقة عدد النوى البنت:

$$N_{\mathrm{D}}(t) = N_{\mathrm{P}}(0)\frac{\lambda_{\mathrm{P}}}{\lambda_{\mathrm{D}} - \lambda_{\mathrm{P}}}\left\{e^{-\lambda_{\mathrm{P}}t} - e^{-\lambda_{\mathrm{D}}t}\right\} .$$

من أجل $t \gg T_{\frac{1}{2}}(P)$ فأن $e^{-\lambda_P t} \ll e^{-\lambda_D t}$ أي يمكن اهمال $e^{-\lambda_D t}$ أمام $e^{-\lambda_p t}$ ومنه نجد:

$$N_D(t) = N_P(0)e^{-\lambda_P t}\frac{\lambda_P}{\lambda_D - \lambda_P}$$

بضرب الطرفين ب λ_D :

$$N_D(t)\lambda_D = N_P(t)\frac{\lambda_P\lambda_D}{\lambda_D - \lambda_P}$$

$$A_D(t) = A_P(t)\frac{\lambda_D}{\lambda_D - \lambda_P}$$

$$\frac{A_D(t)}{A_P(t)} = \frac{\lambda_D}{\lambda_D - \lambda_P}$$

وعند تحقق هذا الشرط فأننا نُسمي التوازن بالتوازن الانتقالي. النشاط الاشعاعي للنواة البنت يكون أكبر من النشاط الاشعاعي للنواة الأم عند حدوث التوازن الانتقالي.

- التوازن الاشعاعي الأبدي:

يحدث هذا النوع من التوازن عندما يكون عمر النصف للنظير الأم كبيراً جداً مقارنةً بعمر النصف للنواة البنت.

$$T_{\frac{1}{2}}(P) \gg T_{\frac{1}{2}}(D)$$

أي $\lambda_P \ll \lambda_D$

وبالتالي فأن λ_P يمكن أن تقترب من الصفر وبالتالي 1 $\approx$ $e^{-\lambda_P t}$.

لذلك فأن العلاقة التي تعطي عدد النوى البنت:

$$N_{\mathrm{D}}(t) = N_{\mathrm{P}}(0)\frac{\lambda_{\mathrm{P}}}{\lambda_{\mathrm{D}} - \lambda_{\mathrm{P}}}\left\{e^{-\lambda_{\mathrm{P}} t} - e^{-\lambda_{\mathrm{D}} t}\right\} \ .$$

يُمكن كتابتها على الشكل التالي:

$$N_D(t) = N_P(0)\frac{\lambda_P}{\lambda_D}\,(1 - e^{-\lambda_D t})$$

بعد زمن كاف يكون فيه $(t \gg T_{\frac{1}{2}}(D)$ فأن $e^{-\lambda_D t}$ سيقترب من الصفر. وبالتالي:

$$N_D(t)\lambda_D = N_P(0)\lambda_P$$

$$A_D(t) = A_P\,(t)$$

أي في حالة التوازن الأبدي فأن النشاط الاشعاعي للنواة البنت يساوي تماماً النشاط الاشعاعي للنواة الأم من أجل زمن $t \gg T_{\frac{1}{2}}(D)$