الكتاب الأول	التطورات الـرتـيبة	
الوحدة 02	التحولات النووية	
GUEZOURI Aek – lycée Maraval - Oran	الدرس الأول	

مـا يجب أن أعرف حتى أقول : إني استوعبت هذا الدرس

- يجب أن أعرف مدلول الرمز ${}^{A}_{Z}X$ وإعطاء تركيب النواة الموافقة .
- يجب أن أعرف معنى النظير وأحفظ بعض الأمثلة .
- يجب أن أتعرّف على الأنوية المستقرة وغير المستقرة اعتمادا على مخطط سيقري (Segrè)
- يجب أن أعرف ما معنى نواة مشعّة .
- يجب أن أعرف كل الجسيمات التي نصادفها في هذا الدرس
- يجب أن أعرف قانون الإنحفاظ .
- يجب أن أعرّف الإشعاعات α ، β ، γ وأكتب معادلة تحول نووي وأطبق فيها قانون الإنحفاظ .
- يجب أن أعرف قانون Soddy والتمكن من استغلال منحني التناقص $N = f(t)$.
- يجب أن أعرف معنى النشاط الإشعاعي وأهميته ووحدة قياسه .
- يجب أن اعرف معنى الثابت الزمني وزمن نصف العمر وكيفية استنتاجهما من منحني التناقص .
- يجب أن أعرف كيفية استعمال النشاط الإشعاعي في التأريخ .

ملخص الدرس

النشاط الإشعاعي

- النشاط الإشعاعي هو ظاهرة سببها تحوّل نووي تلقائي لأنوية غير مستقرّة لإعطـاء أنوية أكثر استقرارا وانبعاث إشعـاع .
- كل تحوّل نووي يخضع إلى انحفاظ الشحنة الكهربائية وعدد النوكليونات والطـاقة .

أنواع الإشعاعات

يوجد ثلاثة أنواع رئيسية للإشعاعات هي :

- **الإشعـاع α** (أنوية الهيليوم ${}^{4}_{2}He$) : ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$. هذا لإشعاع خاص بالأنوية الثقيلة جدا
- **الإشعـاع β^-** : ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$. هذا الإشعاع خاص بالأنوية التي تحتوي على عدد كبير من النوترونات
- **الإشعـاع β^+** : ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{1}e$. هذا الإشعاع خاص بالأنوية التي تحتوي على عدد كبير من البروتونات
- **الإشعـاع γ** : هو إشعـاع يرافق عادة الإشعاعات السابقة (α ، β ، γ) ، بحيث تكون النواة الناتجة عن هذه الإشعاعات مثارة طاقويا فتشعّ γ لكي تستقرّ . ${}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}Y + \gamma$ (* تدل على أن النواة مثارة)

التناقص

- النشاط الإشعاعي ظاهرة عشوائية ، لا يمكن دراسة تطورها إنفراديا ، بل نستعمل مجموعة كبيرة من الأنوية لنتكلم عن المتوسط .
- التّغيّر $\Delta N(t)$ لعدد الأنوية المشعّة بين اللحظتين t و $t + \Delta t$ هو : $\Delta N(t) = -\lambda N(t) \Delta t$
- قـانون التناقص هو $N = N_0 e^{-\lambda t}$ ، حيث N_0 هو عدد الأنوية في اللحظة $t = 0$

- النشـاط A لمـادة مشعّة هو العدد المتوسط للإضمحلالات في وحدة الزمن $A = \frac{|\Delta N|}{\Delta t}$

النشاط عدد موجب يُقاس بـ (Becquerel) رمزه Bq

الثابت الإشعاعي (λ)

يتعلّق بطبيعة النواة ، ولا يتعلّق بالزمن . يُقاس بـ s^{-1} .

الثابت الزمني (أو ثابت الزمن)

هو الزمن المتوسط لعمر نواة ، مع العلم أن أنوية تضمحلّ في مدة زمنية طويلة وبعضها يضمحلّ في مدة زمنية قصيرة . $\tau = \frac{1}{\lambda}$

زمن نصف العمر

هو الزمن اللازم لاضمحلال نصف العدد المتوسط للأنوية المشعة . $t_{1/2} = \frac{ln\,2}{\lambda}$

بطاقة رياضية

الدالة الأسّية

هي دالة معرفة بالعلاقة $f(x) = a^x$ ، يسمى a الأساس ، وهو عدد حقيقي أكبر تماما من 1 .

إذا كان $a = e$ نسميه الأساس النيبيري ، حيث $e = 2{,}71$ ، ونكتب $f(x) = e^x$

مشتق الدالة الأسية : إذا كانت $f(x) = e^{bx}$ ، حيث b عدد حقيقي فإن $f'(x) = b\,e^{bx}$

$$\lim_{x \to +\infty} e^x = +\infty \quad ، \quad \lim_{x \to -\infty} e^x = 0$$

الدالة اللوغاريتمية

هي الدالة التي تتميز بالعلاقة $f(x) = log_a\, x$ ، حيث a عدد حقيقي أكبر تماما من 1 .

إذا كان $a = e$ نسمي اللوغاريتم نيبيريا ونكتب : $f(x) = lnx$

خواص اللوغاريتم :

$$ln\,1 = 0 \quad ، \quad ln\,(a \times b) = ln\,a + ln\,b$$

$$lne = 1 \quad ، \quad ln\frac{a}{b} = lna - lnb \quad ، \quad ln\,e^b = b\;ln\,e = b$$

على الآلة الحاسبة نستعمل الزر ln لحساب اللوغاريتم النيبري لعدد وليس الزر log

الدرس

I - استقرار وعدم استقرار الأنوية

1 – نواة الذرة

تتألف نواة ذرة من جسيمات تسمّى النوكليونات (nucléons) ، هي البروتونات والنوترونات ، عدد هذه النوكليونات هو العدد A .

نمثّل نواة بالشكل ${}^{A}_{Z}X$ ، حيث X هي النواة ، Z : عدد البروتونات ، A العدد الكتلي ، أما عدد النوترونات فهو $N = A - Z$

مثال : النواة ${}^{23}_{11}Na$ تحتوي على 11 بروتون و 12 نوترون .

1 – 1 - **النظائر** : مجموعة من الذرات تشترك في العدد الذري Z وتختلف في A .

نظائر الأكسوجين هي ${}^{16}_{8}O$ ، ${}^{17}_{8}O$ ، ${}^{18}_{8}O$. نظائر الكلور هي : ${}^{35}_{17}Cl$ ، ${}^{37}_{17}Cl$.

الجسيمات التي نصادفها في هذا الدرس :

النوكليون	البروتون ${}^{1}_{1}p$	النوترون ${}^{1}_{0}n$	الإلكترون ${}^{0}_{-1}e$
العدد	Z	A – Z	Z
الكتلة (kg)	$1,673 \times 10^{-27}$	$1,675 \times 10^{-27}$	$9,1 \times 10^{-31}$
الشحنة (C)	$1,602 \times 10^{-19}$	0	$-1,602 \times 10^{-19}$

هنـاك جسيم آخر يسمّى البوزترون (${}^{0}_{+1}e$) ، عكس الإلكترون في الشحنة . سبب انبعاثه هو التحول المتواصل داخل النواة للبروتونات إلى نوترونات : ${}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{1}e$

أما عندما يتحول نوترون إلى بروتون ينبعث إلكترون : ${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e$

يوجد حوالي 350 نواة طبيعية ، منها حوالي 60 نواة غير مستقرة . أما الأنوية الاصطناعية فكلها غير مستقرّة

1 – 2 - **نصف قطر النواة**

يُعطى نصف قطر النواة بالعلاقة : $R = r_0 \sqrt[3]{A}$ ، حيث R هو نصف قطر النواة .

$\sqrt[3]{x}$: هو الجذر التكعيبي للعدد x ، إذا كان $y = \sqrt[3]{x}$ ، فإن $x = y^3$

r_0 هو ثابت بالنسبة لكل الأنوية ما عدا نواة الدوتيرون (Deutéron) ${}^{2}_{1}H$. يُعطى $r_0 \approx 1,3\ fm$

$Fermi$ هو وحدة لقياس المسافات الصغيرة جدا . ($1\ \text{fermi} = 10^{-15}\ \text{m}$) .

مثال : نصف قطر نواة الصوديوم ${}^{23}_{11}Na$ هو : $R = 1,3\ \sqrt[3]{23} = 3,7\ fm$

2 – النشاط الإشعاعي

النواة النشيطة إشعاعيا هي نواة غير مستقرة ، وهي نواة تضمحل عاجلا أو آجلا بواسطة تحوّل نووي تلقائي لإعطاء نواة أكثر استقرارا .

أثناء هذا التحول تصدر النواة إشعاعات أهمها : α ، β^- ، β^+ ، γ .

GUEZOURI Aek

2- 1- قانون الانحفاظ لصودي

في كل تحوّل نووي يُحفَظ مــا يلي :

- الشحنة الكهربائية
- عدد النوكليونــات
- الطــاقة

$$\underbrace{{}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2}_{\text{المتفاعلات}} \rightarrow \underbrace{{}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4}_{\text{النواتج}}$$

في هذا التحوّل يمكن أن يكون X نواة أو جسيما (بروتون ، نوترون ...) ، بحيث يتحقق الانحفاظ :

$$\begin{aligned} A_1 + A_2 &= A_3 + A_4 \\ Z_1 + Z_2 &= Z_3 + Z_4 \end{aligned}$$

2 – 2 – الإشعــاع α

عبارة عن أنوية الهيليوم $({}^4_2He)$ $\quad {}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$

في هذا التحوّل ينقص عدد البروتونات بـ 2 ، ولدينا : عدد النوترونات قبل التحول هو $N = A - Z$ ، أما بعد التحول فيكون عدد البروتونات $N' = A - 4 - (Z - 2) = A - Z - 2 = N - 2$ ، إذن عدد النوترونات نقُصَ بـ 2 .

مثــال : ${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^4_2He$

2 – 3 – الإشعــاع β^- $({}^0_{-1}e)$

ينبعث إلكترون في هذا التحول : ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e$

في هذا التحوّل يزداد عدد البروتونات بـ 1 ، ولدينا : $N' = A - (Z + 1) = N - 1$ ، أي أن عدد النوترونات نقُصَ بـ 1 .

مثــال : ${}^{14}_6C \rightarrow {}^{14}_7N + {}^0_{-1}e$

2 – 4 – الإشعــاع β^+

ينبعث بوزيترون في هذا التحوّل : ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_{+1}e$

في هذا التحوّل ينقص عدد البروتونات بـ 1 ، ولدينا : $N' = A - (Z - 1) = N + 1$ ، أي يزداد عدد النوترونات بـ 1 .

2 – 5 – الإشعــاع γ

يرافق هذا الإشعاع عادة كل الإشعاعات السابقة ، بحيث لما تشعُّ نواة إشعــاعا α ، β^- ، β^+ تكون النواة الإبن (الناتجة) في حــالة طاقوية مثــارة ، فتريد التخلص من الطاقة الزائدة فتصدر إشعاعا γ لتستقر . نمثل النواة المثارة بإضافة (نجمة) X^* .

الإشعاع γ عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية عــالية التواتر (أكبر من 10^{18} Hz) .

$$\underset{\text{نواة إبن مثــارة}}{{}^{Z'}_{A'}X^*} \rightarrow \underset{\text{نواة إبن مستقرة}}{{}^{Z'}_{A'}X} + \gamma$$

مثــال : ${}^{14}_6C \rightarrow {}^{14}_7N^* + {}^0_{-1}e$ $\quad$ ثم تخلّص نواة الآزوت من الطاقة الزائدة : ${}^{14}_7N^* \rightarrow {}^{14}_7N + \gamma$

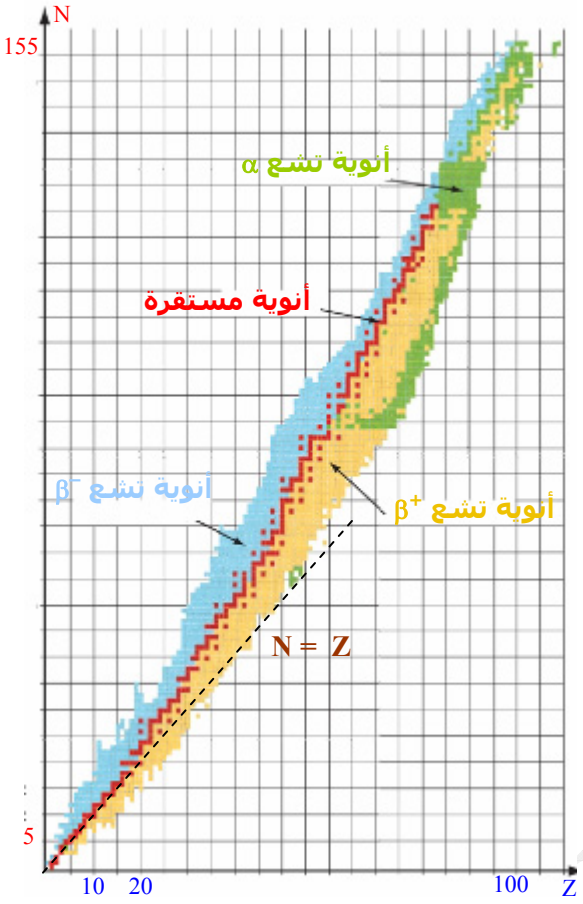
3 – مخطط Segrè

في هذا المخطط نجد على الفواصل العدد الذري Z (عدد البروتونات في النواة) وعلى التراتيب عدد النوتررونات N .

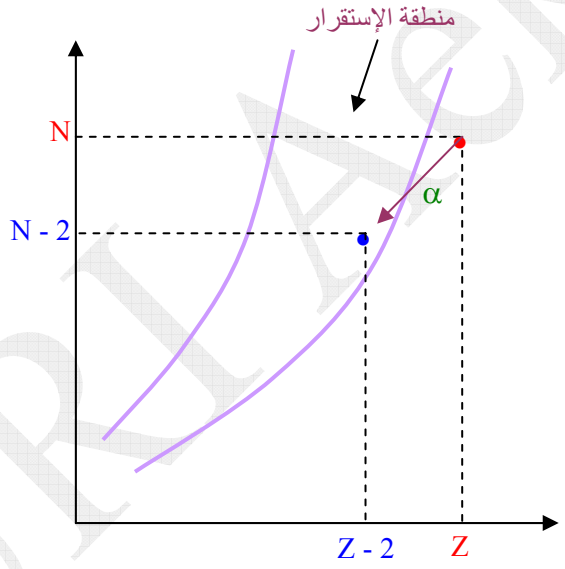
GUEZOURI Aek

المستقيم الذي معادلته $N = Z$ ، والذي يمثل المنصف الأول يسمى مستقيم الإستقرار ، معنى هذا أن الأنوية القريبة من هذا المستقيم بعدد بروتوناتها وعدد نوتروناتها تكون أكثر إستقرارا .

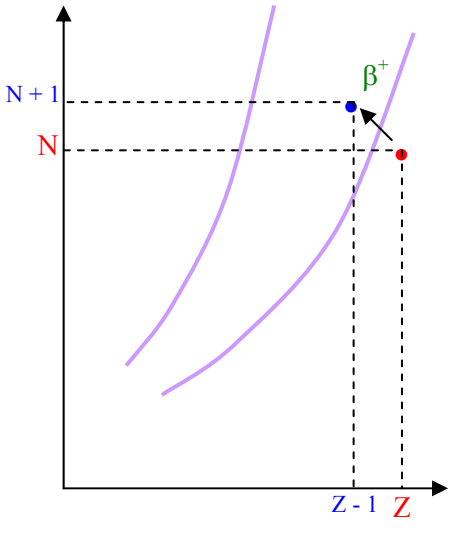
- لكي تستقر نواة يجب أن يكون التوازن بين عدد بروتوناتها ونوتروناتها
- الأنوية التي عدد نوكليوناتها مرتفع تشع α
- الأنوية التي فيها النوترونات كثيرة تشعّ β^- .
- الأنوية التي فيها البروتونات كثيرة تشع β^+



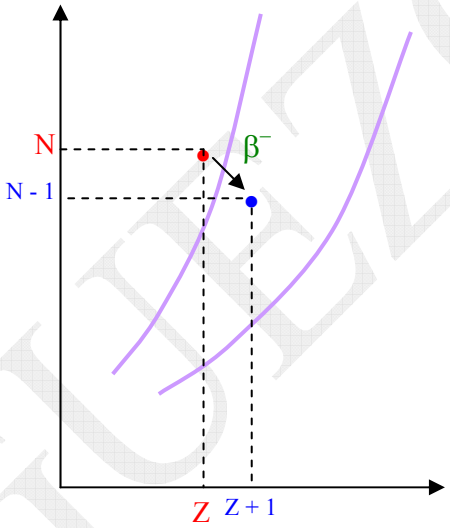
مخطط Segrè - صورة عن Bordas



دخول الأنوية إلى منطقة الإستقرار بعد إصدارها لـ α



دخول الأنوية إلى منطقة الإستقرار بعد إصدارها لـ β^+



دخول الأنوية إلى منطقة الإستقرار بعد إصدارها لـ β^-

4 – قانون التناقص

إن اضمحلال (تحلل) الأنوية هي ظاهرة عشوائية محضة ، حيث لا يمكن التنبؤ باستمرار اضمحلال نواة أو توقفها عن ذلك .

لهذا لا يمكن دراسة الأنوية انفراديا كما تعودنا ذلك في دراسة تطور حركة نقطة مـادية .

GUEZOURI AEK

إذن دراسة اضمحلال الأنوية هي دراسة إحصائية ، معنى هذا أنها تعتمد على القيم المتوسطة ، أي ندرس عينة من الأنوية ونعمم الدراسة على كل الأنوية مجتمعة رغم أن اضمحلال هذه الأنوية إنفراديا لم يكن متماثلا على الإطلاق .

4 – 1 – قـانون Soddy

ليكن N_0 عدد الأنوية في عيّنة مشعة في اللحظة $t = 0$. يصبح هذا العدد $N(t)$ في اللحظة t .

لو أخذنا عيّنة أخرى فيها نفس العدد N_0 ، سيكون بعد نفس الزمن السابق عدد آخر $N(t)$ لأن الإضمحلالات عشوائية .

يمكن بواسطة جهاز يلتقط الإشعاعات الصادرة من تحلل الأنوية أن نتابع تطوّر اضمحلال الأنوية . ليكن $N(t)$ متوسط الأنوية في اللحظة t و $\Delta N(t)$ التغير في عدد الأنوية في المدة الزمنية Δt . إن هذا التغير يتناسب مع :

- $N(t)$: عدد الأنوية في اللحظة t
- $\lambda\ \Delta t$: احتمال الاضمحلال (التحلل) في المجال Δt .

λ هو الثابت الإشعـاعي ، يتعلّق بطبيعة النواة ولا يتعلّق بالزمن .

ومنه : $\mathbf{\Delta N(t) = - N(t)\ \lambda\ \Delta t}$ قانون Soddy

ملاحظة : وجود الإشـارة (–) يدل على أن العدد $\Delta N(t)$ سالب لأن متوسط عدد الأنوية يتناقص خلال الزمن .

إن التطوّر $N(t)$ يوافق معادلة تفاضلية : $\dfrac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t)$

المعادلة التفاضلية هي المعادلة التي تشمل الدالة $y = f(x)$ ومشتقاتها ، مثل : $a\,y'' + b\,y' + c\,y = 0$ (1)

حل معادلة تفاضلية معناه إيجاد الدالة $y = f(x)$ التي تحقق المعادلة (1) .

نحن لدينا معادلة تفاضلية شكلها : $y' + \lambda\ y = 0$. إن حل هذه المعادلة من الشكل : $y = f(x) = e^{-\lambda x}$ ، ومنه :

$N(t) = a\,e^{-\lambda t}$ ، حيث العدد الحقيقي a يتعلق بالشروط الابتدائية ، أي عندما $t = 0$ فإن $N(0) = a\,e^0 = a = N_0$ ،

وبالتالي : $\boldsymbol{N = N_0 e^{-\lambda t}}$ (2)

وحدة λ : بما أن N و N_0 من نفس الجنس (عدد أنوية) إذن $e^{-\lambda t}$ مجرد من الوحدة ، يعني λt ليس له وحدة ، إذن يجب أن تكون وحدة λ هي مقلوب الثانية (s^{-1}) .

4 – 2 – زمن نصف العمر (الدور) $t_{1/2}$

هو الزمن اللازم لكي يتغيّر عدد الأنوية من N_0 إلى $\dfrac{N_0}{2}$.

بالتعويض في العلاقة (2) نكتب : $\dfrac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t}$ ، ومنه : $\dfrac{1}{2} = e^{-\lambda t}$ ، وبإدخال اللوغاريتم على طرفي المعادلة :

$-\ln 2 = -\lambda t$ ، ومنه $\boldsymbol{t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}}$ ، ولدينا $\ln 2 = 0{,}69$

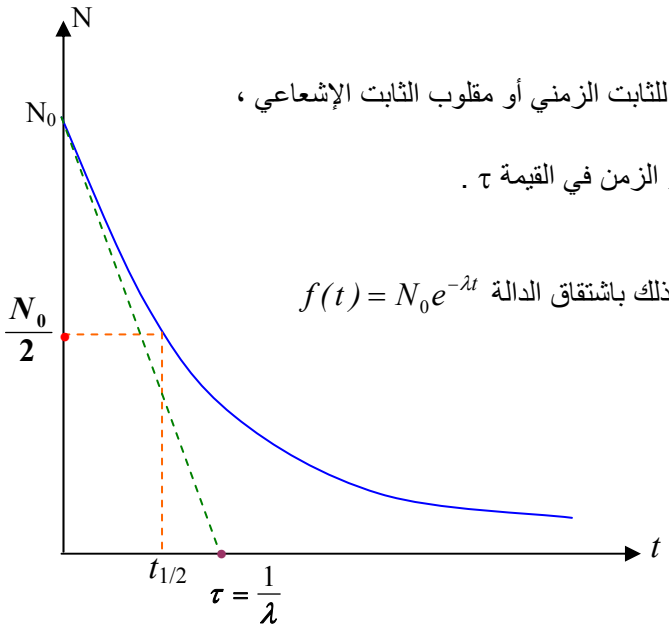
زمن نصف العمر يميز فقط النواة ويقاس بالثانية أو اليوم أو السنوات .

^{210}Po : 138 يوم ، ^{210}Bi : 5 أيام ، ^{232}Th : حوالي 14 مليـار سنة .

4 – 3 – الثابت الزمني τ

هو الزمن المتوسط لعمر نواة ، $\tau = \dfrac{1}{\lambda}$ ، ويُقاس بالثانية (s)

استنتـاج $t_{1/2}$ و τ و λ من البيان N(t) :



بالنسبة لزمن نصف العمر هو فاصلة الترتيب $\dfrac{N_0}{2}$ ، أما بالنسبة للثابت الزمني أو مقلوب الثابت الإشعاعي ،

نرسم مماس البيان في النقطة $(0\ ,\ N_0)$ ، فيقطع هذا المماس محور الزمن في القيمة τ .

رياضيا ، نكتب معادلة المماس في النقطة التي فاصلتها $t = 0$ ، وذلك باشتقاق الدالة $f(t) = N_0 e^{-\lambda t}$

وتعويض t بالقيمة 0 في المشتق :

معادلة المماس هي : $y - y_0 = f'(0)(t - t_0)$

نجعل التقاطع بين هذا المماس والمستقيم الذي معادلته $t = 0$

الذي يمثل محور الفواصل .

---

5 – النشاط A

يمثل النشاط عدد الإضمحلالات في وحدة الزمن ، وهو عدد موجب . $A = \dfrac{|\Delta N|}{\Delta t}$ (3)

ويقاس بـ Becquerel (Bq) . توجد وحدة أخرى هي Curie (Ci) . $1\ Ci = 3{,}7 \times 10^{10}\ Bq$

نعوّض في العلاقة (3) ΔN بعبارتها : $A = \dfrac{\lambda\ N(t)\ \Delta t}{\Delta t} = \lambda\ N(t) = \lambda\ N_0\ e^{-\lambda t}$.

نضع $A_0 = \lambda\ N_0$ ونسمّيه النشاط عند اللحظة $t = 0$ ، وبالتالي نكتب : $\mathbf{A = A_0 e^{-\lambda t}}$

6 – تأثير الإشعاعات على المادة الحية

باستطاعة الإشعاعات ، إذا كانت معتبرة أن تؤثر على خلايا الجسم ، حيث بإمكانها أن تشرّد المـادة وتخرّب الخلايا وتحويلها إلى خلايا سرطانية ، ويزداد هذا الخطر كلما كان منبع الإشعاع أكثر نشاط ، وخاصة بالطاقة التي تحملها الإشعاعات .

7 – في المجال الطبي

يمكن استغلال طاقة النشاط الإشعاعي في تدمير الخلايا السرطانية في الجسم . يُستعمل عادة اليود 131 الذي يُشع β^- والذي يوافق زمن نصف عمر يقدّر بـ 8 أيام .

8 - في مجال التأريخ

يُستعمل النشاط الإشعاعي في تحديد عمر الكواكب والصخور والآثار (مثلا عمر مومياء) ، وذلك بقيـاس النسبة بين عدد الأنوية الأب والأنوية الابن في تقدير عمر الصخور مثلا ($\frac{^{87}_{38}Sr}{^{87}_{37}Rb}$) والنسبة بين النظير المشع والنظير المستقر في تقدير عمر الآثار والتحف الأثرية ($\frac{^{14}_{6}C}{^{12}_{6}C}$) .

GUEZOURI Aek