الفصل الثالث عشر

نمذجة النمو والاضمحلال

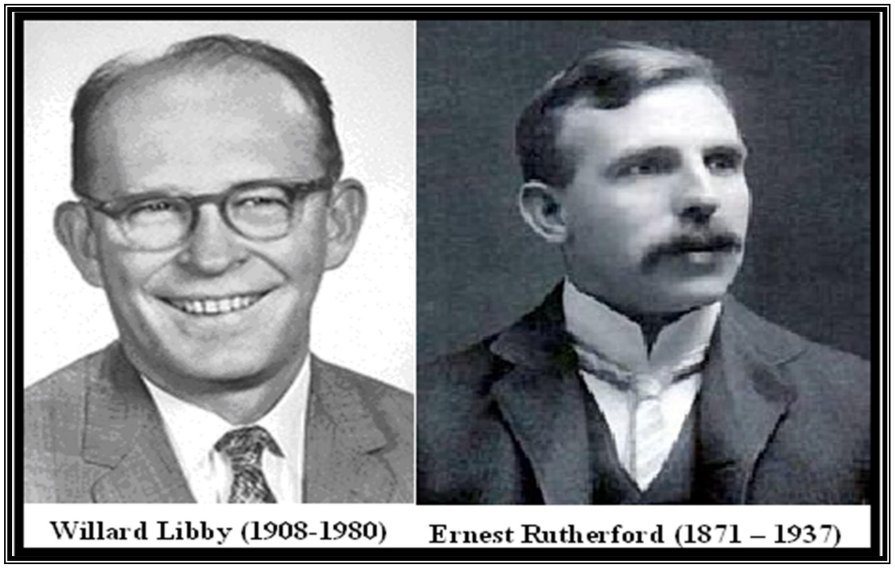
Modeling Growth and Decay

13-7 تحديد التواريخ بالكربون المشع

Radiocarbon dating (Carbon Dating)

إن تحديد التواريخ بالكربون المشع هي طريقة علمية تستند على مبادئ النشاط الإشعاعي التي أُكتشفت في مطلع القرن العشرين من قبل إرنست روثرفورد Ernest Rutherford، والذي حصل على جائزة نوبل للكيمياء في السنة 1908. وتعتمد هذه الطريقة أساسا على استخدام النظائر المشعة للكربون 14 (^{14}C) لتقدير أعمار المواد الكربونية لغاية حوالي 58000 إلى 62000 سنة. مثل هذه الأعمار الخامِ يُمْكِن أَنْ تدرّج لإعطاء التواريخِ التقويمية. إن إحدى أكثر الاستعمالات المألوفة لهذه الطريقة هي لتقدير أعمار البقايا العضوية مِن المواقع الأثرية. لقد كان أول تطبيق عملي لهذه الطريقة هو استخدامها لتقدير عُمر خشب مأخوذ من مركب ملكي مصري قديمِ معروف العمر من الوثائق التاريخية، وكانت النتائج التي حصلوا عليها متوافقة مع الوثائق.

إن تحديد التواريخ بالكربون المشع تقنية يعود اكتشافها في أربعينيات القرن العشرين إلى الكيماوي ويلارد ليبي W.F. Libby، والذي حصل على جائزة نوبل بالكيمياء في السنة 1960. انظر الملحق C1 والذي يعطي ملخصا عن مبادئ النشاط الإشعاعي فضلا عن موجز سيرة حياة العالمين إرنست روثرفورد و ويلارد ليبي.



الشكل (13-12) إرنست روثرفورد و ويلارد ليبي

لقد لاحظ روثرفورد عمليا أنه لو كانت N(t) تمثل عدد الذرات الموجودة في عينة من مادة مشعة، فإن عدد الذرات التي تتعرض للنضوب (التحلل) Disintegration الإشعاعي في وحدة الزمن تتناسب مع العدد الكلي من الذرات الموجودة. من ملاحظة روثرفورد هذه يمكن استنتاج النموذج الرياضي الآتي والذي يعبّر عن نسبة التغير في عدد الذرات بالنسبة للزمن:

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t). \qquad (27\text{-}13)$$

إذ إن λ يمثل ثابت الاضمحلال Decay Constant. وكما هو معروف فإن حل هذه المعادلة التفاضلية هو:

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t}. \qquad (28\text{-}13)$$

وفي أربعينيات القرن العشرين اكتشف الكيماوي ويلارد ليبي تقنية تحديد التواريخ بالكربون المشع والتي تتلخص بإيجاد الزمن $t = \tau$ والذي يحقق القيد $N(\tau) = N(0)/2$، إذ إن τ يُعرف بالعمر النصفي.

ومن المعادلة الأخيرة نجد أن:

$$\tau = \frac{\ln(2)}{\lambda}. \qquad (29\text{-}13)$$

ماذا يُعنى بالعمر النصفي؟

العمر النصفي هو المدة الزمنية التي تتحلّل فيها نصف ذرّات عنصر مشعّ معيّن. إن مدة العمر النصفي خاصيةٌ مميزة لكلّ النظائر المشعّة، فلكّل نظير مشعّ عمر نصفي خاص به .والجدول الآتي يبين العمر النصفي وثابت الاضمحلال لبعض المواد الشائعة.

الجدول (13–2) العمر النصفي وثابت الاضمحلال لبعض المواد الشائعة

المادة	العمر النصفي τ	ثابت الاضمحلال λ
البوتاسيوم Potassium-37	1.22 ثانية	0.5682 لكل ثانية
الحديد Iron-53	8.51 دقيقة	0.0815 لكل دقيقة
النيتروجين Nitrogen-16	7.2 دقيقة	0.0963 لكل دقيقة
الزينون Xenon 133	5 أيام	0.1386 لكل يوم
الذهب Gold-198	2.69 يوم	0.2577 لكل يوم
الباريوم Barium 140	13 يوم	0.0533 لكل يوم

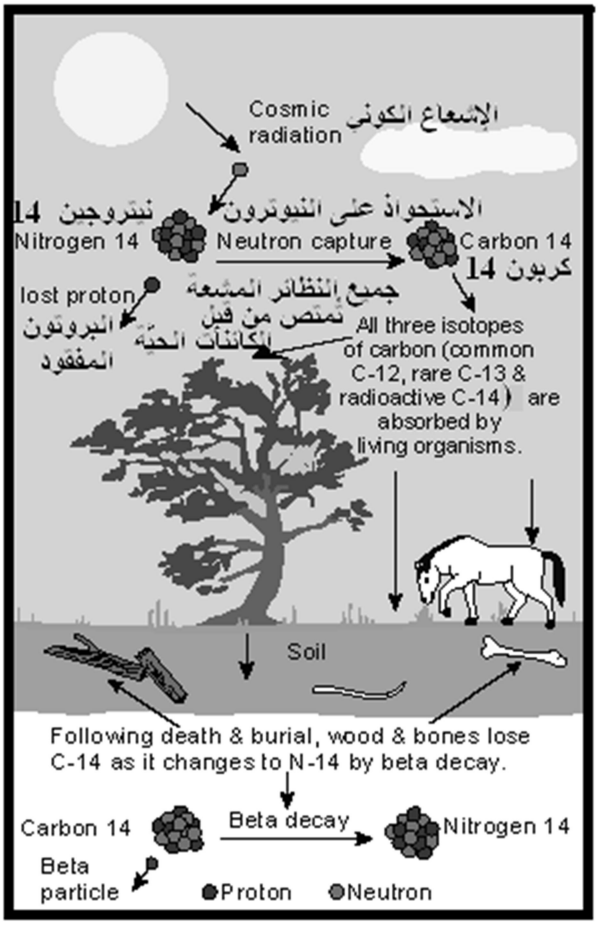
الرصاص Lead 210	22.3 سنة	0.0311 لكل سنة
السترونتيوم Strontium 90	28.90 سنة	0.0240 لكل سنة
الكربون Carbon 14	5730 سنة	0.00012 لكل سنة
البلوتونيوم Plutonium-239	24100 سنة	0.00003 لكل سنة
اليورانيوم Uranium 238	4468 مليون سنة	0.000155 لكل مليون سنة

كيف يُستخدم الكربون المشعّ في تقدير أعمار بقايا الكائنات الحيّة؟

يوجد الكربون في جسم الكائن الحيّ في حالة توازن طبيعية. فعندما تثبّت النباتات ثاني اوكسيد الكربون الجوّي (CO_2) إلى مادّة عضوية أثناء عملية التركيب الضوئي فإنها تدمج كمية من الكربون المشع ^{14}C الذي يضاهي مستوى هذه النظائر المشعة تقريباً في الجوِّ. وبَعْد موت النباتات أَو استهلاكها من قبل الكائنات الحية الأخرى (مثل الإنسان أو الحيوان) فان الكربون المشع ^{14}C يقوم بتحليل هذه المواد العضوية المتحللة وفق نسبة الاضمحلال الأسي الثابتة للكربون المشع. فمقابل عملية تخزين الكربون المشعّ في جسم الكائن الحيّ، هناك ذرّات من الكربون المشعّ تتحلّل حسب المعادلة الكيماوية الآتية، أنظر أيضا الشكل اللاحق.

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}\beta$$

وبمقارنة النسبة المتبقية من الكربون المشع والمأخوذة من العينة مع تلك المتوقعة من الكربون المشع يمكن الوصول إلى العمر التقريبي للعينة.



الشكل (12-13) دورة الكربون في الطبيعة

إن نسبة الكربون 14 المشعّ إلى الكربون الطبيعي في جسم الكائن الحي هي:

$$\frac{{}^{14}_{6}C}{{}^{12}_{6}C} \approx 1.3 \times 10^{-12}$$

لنفرض أن R(t) تمثل نسبة النضوب الإشعاعي Disintegration عند الزمن t. وحسب المعادلة (13-27) فإن:

$$R(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t). \qquad (13\text{-}30)$$

لذا فإن

$$R(0) = \lambda N(0).$$

وبالتعويض عن N(t) من المعادلة (13-28) في المعادلة (13-30) نجد أن:

$$R(t) = \lambda N(0)e^{-\lambda t}$$
$$= R(0)e^{-\lambda t}$$
$$\therefore \frac{R(t)}{R(0)} = e^{-\lambda t}.$$

وبحل المعادلة الأخيرة نجد أن:

$$t = -\frac{1}{\lambda}\ln[\frac{R(t)}{R(0)}]. \qquad (31\text{-}13)$$

ولو فرضنا أن

$$k = \ln[\frac{R(t)}{R(0)}] \qquad (32\text{-}13)$$

تمثل نسبة الكربون 14 إلى الكربون الطبيعي في العينّة مقارنة بالنسبة الطبيعية، وبالتعويض عن $\lambda = \ln(2)/\tau$ ، تصبح المعادلة (13-31) على النحو الآتي:

$$t = -\frac{k\tau}{\ln(2)}, \qquad (33\text{-}13)$$

إذ إن ln(2)=0.6931 و $\tau = 5730$ للكربون 14. لذا فبمجرد معرفة قيمة k يمكن بيسر تقدير العمر t.