

化學情境試題：考古學家的碳-14 測年法

提供者：[國科會高瞻計畫中學教學資源平台](#)

化學情境試題：考古學家的碳-14 測年法 (Carbon-14 Dating in Archaeology) [I]

台中縣立大里高級中學化學科謝孟樺老師
國立彰化師範大學化學系楊水平副教授責任編輯

在回答問題之前，首先請你閱讀與本試題有關的情境描述，以增加你對本試題背景知識的瞭解；然後思考問題解決的策略，並且寫下你的答案；最後用我們提供的參考答案檢查你的答案是否正確。

情境描述

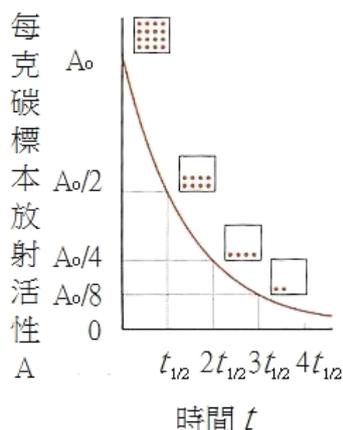
當人們看見一件很古老的物品，最常見的疑問是「這是幾年前的古物？」，考古學家和你一樣，也很想知道古物到底有多古老（圖一）。隨著科技的日新月異，考證年代的技術越來越多，也越來越精準，但是在諸多的方法之中，以「碳-14 測年法 (carbon-14 dating)」最為普遍，此方法係在 1948 年由一位曾從事原子彈研究的芝加哥大學里比 (W. F. Libby) 及其同事所發現。這使考古學家與地球科學家大幅擴展對過去歷史的認知，也由於這項卓越貢獻，因而獲頒諾貝爾化學獎。



圖一 考古學家挖掘古物

圖片來源：Wessex Archaeology, <http://www.flickr.com/photos/wessexarchaeology/51572936/>

自然界中存在三種碳的同位素，分別為碳-12、碳-13 及碳-14，在地球上 98.89% 的碳以碳-12 的形式存在，有 1.11% 的碳以碳-13 的形式存在，只有 10^{-10} % 是以碳-14 存在大氣中。放射性元素碳-14 的形成，乃是透過各種宇宙射線與地球外層大氣撞擊而產生的中子，再與大氣中的氮原子作用，釋放出質子。碳-14 經由 β 衰變會逐漸蛻變成氮，蛻變的速率為約每 5730 年放射性活性減少一半，我們稱這種遞減所需的時間為「半衰期 ($t_{1/2}$)」，如圖二所示。



圖二 放射活性與半衰期的關係

碳-14 與氧結合生成二氧化碳 ($^{14}\text{CO}_2$)，與普通的不具放射性的碳-12 ($^{12}\text{CO}_2$) 共存於地球大氣和水中，為生物所吸收：植物吸收二氧化碳作為光合作用的原料，各種動物及人類又以植物為食物，因此在所有進入生物體內的碳元素中便存有少量的碳-14，生物體藉由呼吸或光合作用，隨時補充蛻變掉的碳-14，其放射性活性 (A_0) 乃保持與大氣平衡的狀態；一旦生物體死亡，與大氣停止交換，體內碳-14 放射性活性 (A) 就按指數規律減少，在已知碳-14 的半衰期 ($t_{1/2}$) 下，藉由測量 A 與 A_0 的值，就能定出生物體從死亡至今的絕對年代 (t)。放射性活性與衰變時間的關係式如下所示：

$$\frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

情境試題

1. 已知各種碳同位素原子量分別為： $^{12}\text{C} = 12.0000 \text{ amu}$ ， $^{13}\text{C} = 13.00335 \text{ amu}$ ， $^{14}\text{C} = 14.00317 \text{ amu}$ ，試求碳的平均原子量。
2. 根據「情境描述」，回答下面的問題。
 - (1) 請寫出放射性元素碳-14 形成的核反應式（必須標示元素的質量數合原子序）。

- (2) 碳-14 經 β 衰變後的產物為氮，試敘述氮-14 原子的內部含有中子、質子和電子的數量各為多少？
3. 考古學家發現非洲洞穴中一處火堆餘燼，測得每公克碳標本每分鐘碳-14 衰變 3.1 次，假設由新鮮木頭缺口測得衰變速率為每克碳標本每分鐘碳-14 衰變 13.6 次(此衰變用大氣中碳-14 含量的改變作校正)，試求此火堆餘燼的年代。

參考資料 (以下網頁擷取日期：2010 年 2 月)

1. Carbon dating, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dating.
2. 碳十四測年法，國立台灣史前博物館，http://www.nmp.gov.tw/eneews/no17/page_04.html。
3. 楊進榮、姜樂義，1987 年 9 月，碳-14 定年實驗室又誕生了！—碳-14 定年法及其應用，科學月刊，第 213 期。

化學情境試題：考古學家的碳-14 測年法 (Carbon-14 Dating in Archaeology) [II]

台中縣立大里高級中學化學科謝孟樺老師

國立彰化師範大學化學系楊水平副教授責任編輯

在回答問題之前，首先請你閱讀與本試題有關的情境描述，以增加你對本試題背景知識的瞭解；然後思考問題解決的策略，並且寫下你的答案；最後用我們提供的參考答案檢查你的答案是否正確。

解題策略

1. 已知各種碳同位素原子量分別為： $^{12}\text{C} = 12.0000 \text{ amu}$ ， $^{13}\text{C} = 13.00335 \text{ amu}$ ， $^{14}\text{C} = 14.00317 \text{ amu}$ ，試求碳的平均原子量。

Step 1：瞭解平均原子量的定義。

Step 2：從題目提供的各種碳同位素原子量，及從「情境描述」可得其所占的百分比，計算平均原子量。

2. 根據「情境描述」，回答下面的問題。

(1) 請寫出放射性元素碳-14 形成的核反應式（必須標示元素的質量數合原子序）。

(2) 碳-14 經 β 衰變後的產物為氮，試敘述氮-14 原子的內部含有中子、質子和電子的數量各為多少？

(1) 寫出放射性元素碳-14 形成的核反應式。

Step 1：先寫下參與核反應的物種及簡單的核反應式。

Step 2：知道碳與氮的原子序，以及中子和質子的表示符號。

Step 3：利用核反應前後遵守質量數守恆和原子序數守恆。

(2) 試敘述氮-14 原子的內部含有中子、質子和電子的數量各為多少？

Step 1：根據「情境描述」，得知碳-14 經 β 衰變後的產物為氮元素。

Step 2：知道 β 衰變的反應式。

Step 3：利用核反應前後遵守質量數守恆和原子序數守恆，寫出碳-14 的 β 衰變反應式。

Step 4：由核反應式得知氮的原子序和質量數，求得其中子、質子和電子的數量。

3. 考古學家發現非洲洞穴中一處火堆餘燼，測得每公克碳標本每分鐘碳-14 衰變 3.1 次，假設由新鮮木頭缺口測得衰變速率為每克碳標本每分鐘碳-14 衰變 13.6 次(此衰變用大氣中碳-14 含量的改變作校正)，試求此火堆餘燼的年代。

[註：根據「情境描述」，可知放射性活性與衰變時間的關係式，直接參考 Steps 4-5。若不知道其關係式，則從 Steps 1-3 開始。]

- Step 1：知道核衰變速率與碳-14 的放射性活性成正比，為一級反應，並且知道一級反應方程式。
- Step 2：知道核衰變常數與半生期的關係式。
- Step 3：由核衰變的一級反應方程式和衰變常數與半生期的關係式，得放射性活性與衰變時間的關係。
- Step 4：根據「情境描述」，得知碳-14 半衰期。根據題意描述，得知放射性活性 A_0 和 A 。
- Step 5：將上述的已知數據代入 Step 3 所得的放射性活性與衰變時間的關係式。

化學情境試題：考古學家的碳-14 測年法 (Carbon-14 Dating in Archaeology) [III]

台中縣立大里高級中學化學科謝孟樺老師

國立彰化師範大學化學系楊水平副教授責任編輯

在回答問題之前，首先請你閱讀與本試題有關的情境描述，以增加你對本試題背景知識的瞭解；然後思考問題解決的策略，並且寫下你的答案；最後用我們提供的參考答案檢查你的答案是否正確。

參考答案

1. 答案：碳的平均原子量為 12.01 amu。

Step 1：由於大多數是由兩種或兩種以上的同位素構成的，因此原子量是按各同位素所占百分比求得的平均值，稱之為平均原子量。

Step 2：由於 ^{14}C 含量甚小（僅 $10^{-10}\%$ ），因此可忽略不計。

碳的平均原子量 = $12.0000 \text{ amu} \times 98.89\% + 13.00335 \text{ amu} \times 1.11\% = 12.01 \text{ amu}$ 。

2. 答案：(1) 放射性元素碳-14 形成的核反應式為 ${}_0^1\text{n} + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow {}_1^1\text{p} + {}_6^{14}\text{C}$ 。(2) 氮-14 原子的內部含有 7 個中子、7 個質子和 7 個電子。

(1) 寫出放射性元素碳-14 形成的核反應式。

Step 1：參與核反應的物種有氮原子、碳原子、中子和質子。

簡單的核反應式為 $\text{n} + \text{N} \rightarrow \text{p} + \text{C}$ (n：中子，p：質子)

Step 2：由週期表得知，碳與氮的原子序分別為 6 與 7。

因此碳-14 與未知質量數的氮原子可表成 ${}_{6}^{14}\text{C}$ 與 ${}_{7}^x\text{N}$ 。

中子與質子可表示成 ${}_0^1\text{n}$ 與 ${}_1^1\text{p}$ 。

Step 3：根據質量數守恆，求出核反應式 ${}_0^1\text{n} + {}_{7}^x\text{N} \rightarrow {}_1^1\text{p} + {}_{6}^{14}\text{C}$ 中 $x = ?$ 得 $x = 14$ 。

故放射性元素碳-14 形成的核反應式為 ${}_0^1\text{n} + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow {}_1^1\text{p} + {}_6^{14}\text{C}$ 。

(2) 試敘述氮-14 原子的內部含有中子、質子和電子的數量各為多少？

Step 1：根據「情境描述」，碳-14 經 β 衰變後的產物為 ${}_7^{14}\text{N}$ ，其原子序為 7，但不知道其質量數。

Step 2： β 衰變的反應為原子核放出 β 射線（即電子），使得原子核內的中子分解成更基本的粒子：中子 \rightarrow 質子 + 電子（+ 微中子）。

Step 3：碳-14 的 β 衰變之核反應式為 ${}_{6}^{14}\text{C} \rightarrow {}_7^{14}\text{N} + {}_{-1}^0\beta + {}_0^0\nu$ (ν ：微中子)

Step 4：氮-14 原子 (${}_{7}^{14}\text{N}$) 的質量數 = 質子數 + 中子數 = 14。

而且氮-14 原子 (${}_{7}^{14}\text{N}$) 的原子序 = 質子數 = 電子數 = 7。

故氮-14 原子的內部含有 7 個中子、7 個質子和 7 個電子。

3. 答案：此火堆為 1.2×10^4 年前的餘燼。

[註：根據「情境描述」，可知放射性活性與衰變時間的關係式，直接進入 Steps 4-5。若不知道其關係式，則從 Steps 1-3 開始。]

Step 1：核衰變速率 (r) 與碳-14 的放射性活性 (A) 成正比，為一級反應。

$r = kA$ (k ：核衰變常數)，其積分結果，得方程式為 $\ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = -kt$ 。

A_0 ：時間 $t = 0$ 時碳-14 的放射性活性； A ：時間 $t = t$ 時碳-14 的放射性活性。

Step 2：核衰變常數 (k) 與半生期 ($t_{1/2}$) 為 $k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$ 。

Step 3：將 Step 2 的 k 代入 Step 1 的方程式，得 $\ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = -\frac{\ln 2}{t_{1/2}}t = \ln\left(\frac{1}{2}\right) \cdot \frac{t}{t_{1/2}}$ 。

兩邊取對數，得關係式 $\frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$ 。

Step 4：根據「情境描述」，得知碳-14 半衰期 $t_{1/2}$ 為 5730 年。根據題意描述，得知衰變前 $t = 0$ 時碳-14 的放射性活性 A_0 為 13.6 次/克·分，經 t 時間衰變後碳-14 的放射性活性 A 為 3.1 次/克·分。

Step 5：代入數據 $\frac{A}{A_0} = \frac{3.1}{13.6} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5730}}$ ，得 $t = 1.2 \times 10^4$ (年)。

故此火堆為 1.2×10^4 年前的餘燼。