

放射性物質的半衰期

引言

所有的放射性同位素，包括核廢料裡的放射性物質，都會經歷放射性衰變的過程。而在衰變的過程中，這些物質會釋放出對人體和生物有危害的放射線。然而放射性物質並不會持續地釋放出這些危險的放射線。相反地，這些放射性同位素的活動能力會隨時間而減少，直到它們不再釋出放射線，或釋出的放射線量少致無法傷害人體為止。但是到底要經過多少時間才能達到這樣的效果呢？

我們無法預測一顆放射性同位素的原子需要花多少時間來進行衰變，因為這是個隨機的過程。但在另一方面，一大群放射性原子的衰變速率是可以被準確地預測出來的。這個速率，一般稱為半衰期，指的是一半數量的某放射性同位素衰變致另一同位素所需的時間。

每一種放射性同位素都有自己的半衰期，而這些半衰期可能短至數分之一秒，長至數十億年。另外，放射性同位素的半衰期越短，它所釋出的放射線就越強烈、越集中。這兩者的關聯是可以理解的，因為放射性同位素的原子必須要在短時間內釋出大量的能量，才能達到快速衰變的目的。放射性同位素所釋放出的放射能量稱為該物質的 *比放射性活度(specific radioactivity)*，並且以 *居禮-公克 (curies per gram)* 作為表示的單位。

在高放射性核廢料中存在有許多的放射性同位素(請參閱**核廢料是什麼？**章節的說明)，而這些同位素通常都具有短暫的半衰期與高度的比放射性活度。而高放射性核廢料中同時也包含了許多半衰期頗長的同位素，如：鏷(americium)與鏷(plutonium)。由此可見，高放射性核廢料之所以危險是因為它是由大量的、不同種類的放射性同位素所組成的混合物，這些同位素的半衰期有長有短，但都同樣地會釋出大量的放射線。

下面的表格列出幾種放射性同位素的相關資訊，包括它們的半衰期與比放射性活度：

放射性同位素	半衰期	比放射性活度 (居禮-公克)
鉾99	66.7小時	474,000
碘131	8天	123,500
氬85	11年	392
銦90	28年	141
銻137	30年	86.4
鏷243	7370年	0.200
鐳239	24400年	0.0613
鈾235	7億年	0.00000241
鈾238	45億年	0.000000334

放射性物質衰變過程的模仿

活動需要的道具：

- 紙盒一只(鞋盒、餅乾盒...等皆可)
- 100顆糖果A(例如：M&M巧克力)
- 100顆糖果B(例如：Skittles彩虹果汁糖)

(備註：活動裡使用的糖果必須有一面是空白面，另一面印有字樣；印有字樣的一面則稱為糖果的"正面"。)

本課堂活動主要的目的在於模仿放射性物質的衰變過程，以及說明半衰期的概念。首先將糖果放入紙盒裡，用力地搖晃紙盒數次，再將出現正面的糖果挑出盒外。正面指的是糖果印有字樣或商標的一面，而糖果空白的另一面則稱為"反面"。

這些操作過程表現出了放射性物質衰變的隨機性質。活動過程中出現正面的糖果代表正在歷經衰變的放射性同位素，這些糖果並將由另一種糖果(代表已經衰變成另一種放射性同位素的同樣原子)所取代。在每次搖晃以後，紙盒裡面呈現反面的糖果則代表仍然具有放射性、尚未衰變的原子。

活動指示

1. 將100顆糖果A放入紙盒裡，並將蓋子蓋上。
2. 把蓋子緊緊按牢後，將紙盒搖晃數次。
3. 打開紙盒，並將所有出現正面的糖果挑出。

搖晃紙盒的 順次	剩餘的糖果數目		
開始	100	搖晃紙盒的順次	剩餘的糖果數目
1		11	
2		12	
3		13	
4		14	
5		15	
6		16	
7		17	
8		18	
9		19	
10		20	

4. 計算剩餘糖果的數目，並將這個數字填入上方的表格裡。

5. 在紙盒中放入糖果B來取代已被挑出的糖果A。

6. 重複操作步驟 2 - 4 十九次，或者直到所有的糖果A都被糖果B取代為止(視情況而定)

圖解放射性物質衰變的過程

將上方表格中的數據點入放射性物質衰變過程座標圖裡的對應座標中，並將各座標點連結起來，如此即可以窺見放射性物質衰變過程的模式。

回答下列問題

1. 根據這個座標圖，糖果A的半衰期是什麼？(在第幾順次以後，才能使半數的糖果A"衰變"，意指從糖果A變成糖果B)
2. 如果一開始只放入了50顆的糖果A，而不是100顆，你認為的會改變它的半衰期嗎？請解釋你的答案。
3. 糖果翻面的情況與放射性同位素的衰變過程有何相似之處？又有何不同的地方？(提示：請考慮糖果翻轉時，出現正面或反面的或然率)
4. 在第幾順次的時候，紙盒裡的糖果A才被完全地挑出？這又等於經過了多少個半衰期？
5. 你會將糖果和紙盒做什麼樣的改變，來延長半衰期的過程？
6. 銻137的半衰期為30年。假設某地在1995年時有10公克的銻137，請問該地在1875年時有多少公克的銻137？
7. 鈾238的半衰期為45億年。假設地球是在45億年前成形的，那麼地球上原有的鈾238有多少已經歷衰變過程了？

挑戰題

8. 或許你已經注意到活動開始時並沒有特別指定紙盒內糖果擺放的方式(例如：小心地將所有的糖果正面向上或是向下擺放)。這雖然是可行的做法，但其實並不必要。請解釋這個現象的原因。(提示1：在第一次搖晃紙盒前，這些糖果所代表的對象為何？提示2：糖果在第一次搖晃紙盒後出現正面或反面的機率是否會因為它們原本的擺放方式[小心地以指定方式放入盒內或是隨意丟入]而有所不同？)

放射性物質在被認定為安全之前，需要經過多長時間的衰變？

核廢料裡有許多的放射性物質，即使在經過一個半衰期以後，仍會釋放出大量有害的放射線。核子學家一般認為這類核廢料的放射性活度會在二十個半衰期後降至安全的程度，也就是指它所釋出的放射線對人體健康的危害已低於平日由周遭環境所接收的放射線。既然各種同位素所經歷的半衰期長度不等，很明顯地，有些同位素會比其他的更早進入安全範圍。

回答下列問題

1. 下方列出四種在核廢料裡常見的放射性物質同位素；請計算出要使每種同位素的放射性活度達到安全範圍所需的時間，並將得到的結果填入下列表格右方的空欄。

核廢料裡的放射性同位素	半衰期	達到安全範圍所需的時間
碘131	8天	
銻90	28年	
銣137	30年	
鏷243	7370年	

2. 在上列表格裡，哪一種同位素需要被存放在最穩定安全的隔離貯藏設備裡？為什麼？

3. 銣137與鏷243兩種同位素很容易就被植物吸收。這將會對人類的健康造成什麼樣的危害？