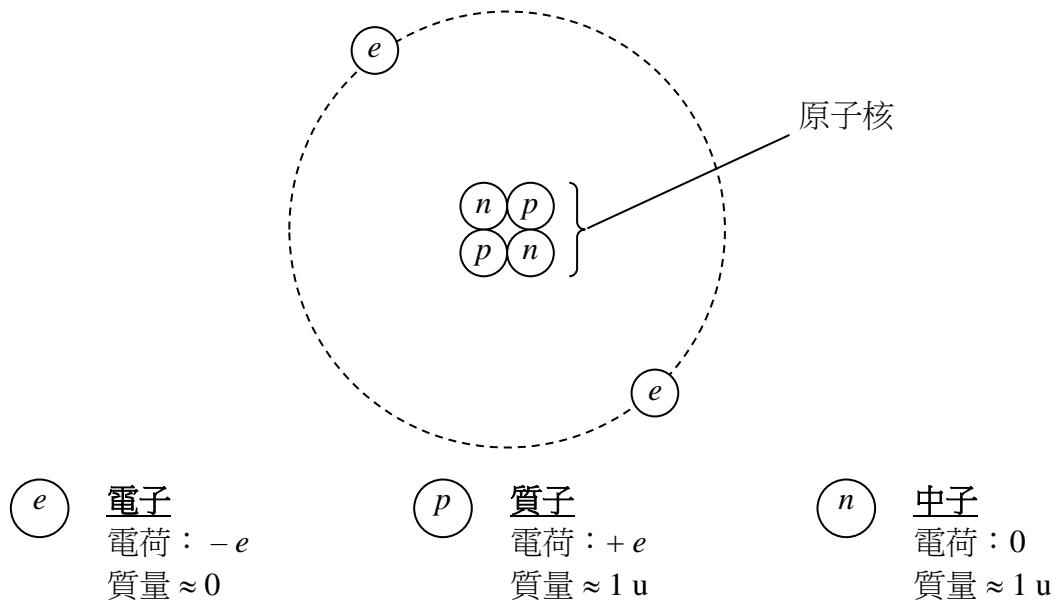


## 1. 原子

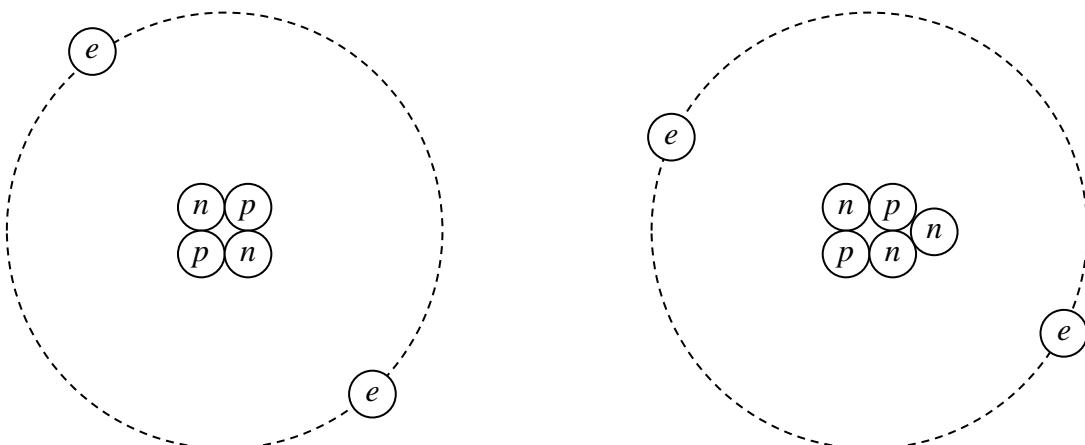
- 原子結構



相對於原子核的半徑，軌道電子圍繞原子核旋轉的半徑很大。即是說，一個原子內大部地方都是空的。電子的質量相對於質子和中子來說是非常小。質子和電子的數目通常會相等，這樣整個原子便會處於中性，則不帶電。另外原子核的反應所涉及的能量變化遠高於原子間交換電子所涉及的能量變化，所以核子物理學的討論中，不用理會原子內的軌道電子。另外， $\text{u}$  稱為**原子質量單位** ( $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ )。

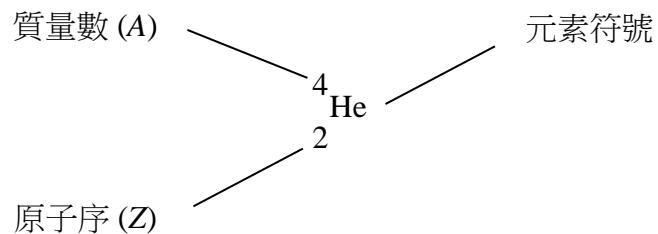
- 同位素

如果兩個原子有相同數目的質子和軌道電子，但帶有不同數目的中子。例如：



由於軌道電子的數目相同，它們有完全相同的化學特性（例如：同樣是惰性氣體、同樣是無色、同樣不溶於水等）；但它們有不相同的物理特性（例如：它們密度不同、放射活性不同等）。我們說這兩個原子屬**同位素關係**。

- 原子核符號



$$\text{質量數} = \text{質子數目} + \text{中子數目}$$

$$\text{原子序} = \text{質子數目}$$

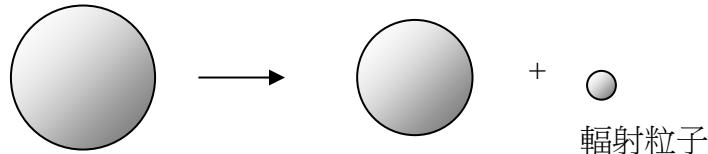
例如：	$_{1}^2\text{H}$	電子	$_{-1}^0\text{e}$	質子	$_{1}^1\text{p}$
	$_{6}^{12}\text{C}$	正電子	$_{+1}^0\text{e}$	中子	$_{0}^1\text{n}$

同位素有相同的原子序，但不同的質量數。

## 2. 核子反應

常見的核子反應包括：衰變、裂變和聚變。

- 衰變

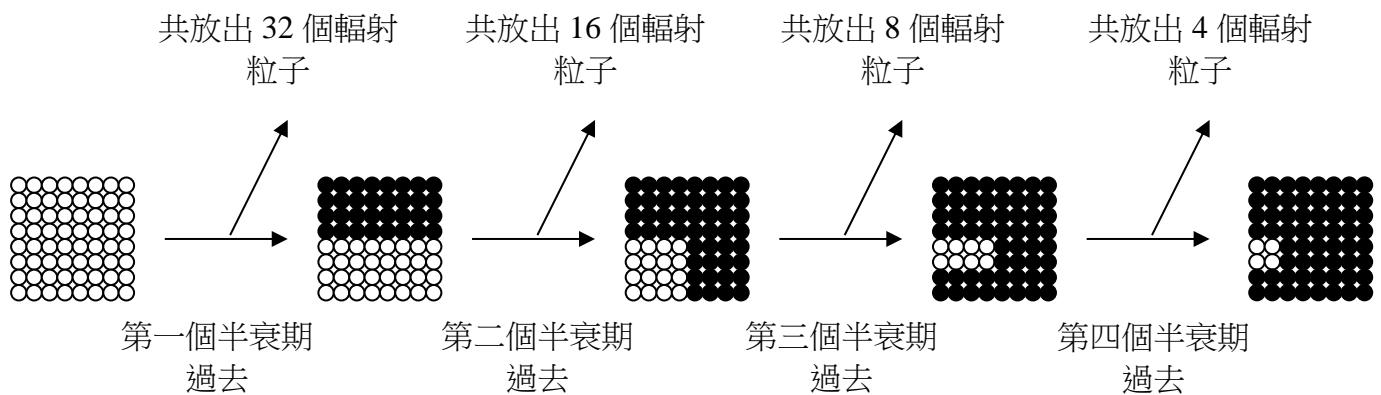


衰變是一種自發和隨機的過程，輻射粒子會隨機向不同方向發射，而衰變的率又不受外在因素（例如溫度、壓力）影響。每秒每粒未衰變的原子核都有相同機率衰變。所以整塊放射物每秒衰變發生的數目只取決於當時未衰變的核的數目。

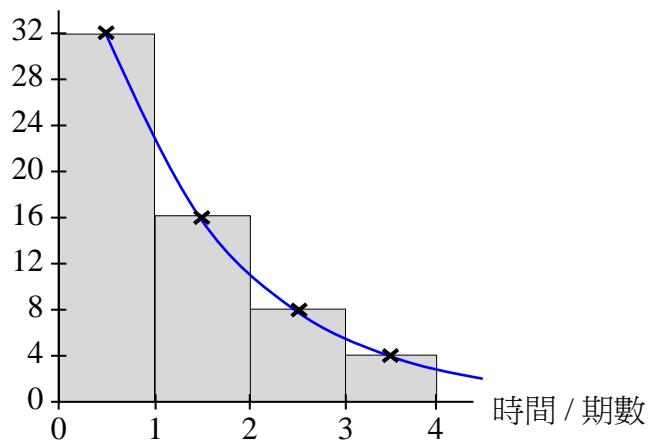
半衰期是指要一堆未衰變的原子核的半數發生衰變的平均時間。舉例，使用以下代號：



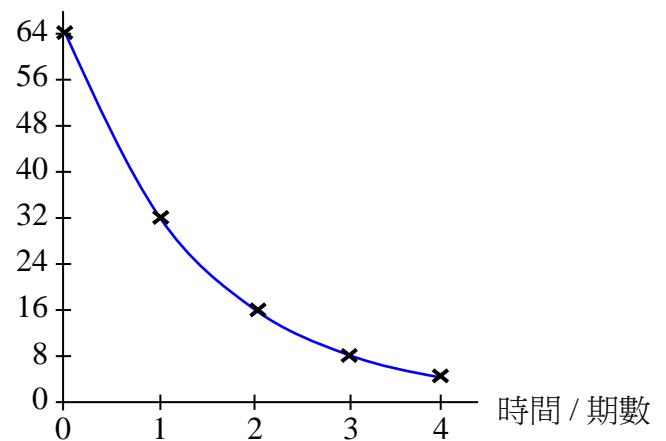
考慮一塊放射性物料原本有 64 個未衰變的原子：



每期放出輻射  
粒子的數目

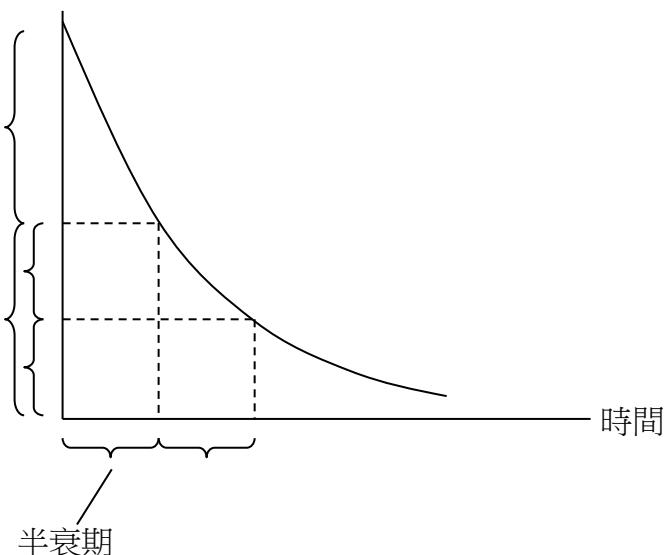


未衰變的核的  
數目



現把上例推演至一般情況。放射強度（單位是  $\text{Bq}$  或  $\text{s}^{-1}$ ）是指每秒放出輻射粒子的數目。放射物質的放射強度會隨時間遞減。

放射強度 /  $\text{Bq}$



放射強度跟時間的關係可以用下式表達：

$$A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$A$   $n$  個半衰期之後的放射強度 [Bq]

$A_0$  原本的放射強度 [Bq]

$n$  期數

我們亦可改為描述餘下未衰變的核的數目跟時間的關係：

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$N$   $n$  個半衰期之後餘下未衰變的核的數目

$N_0$  原本未衰變的核的數目

$n$  期數

以上兩式可以用真實的時間  $t$  代替期數：

$$A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\text{半衰期}}} \quad N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\text{半衰期}}}$$

$A$   $t$  秒之後的放射強度 [Bq]

$A_0$  原本的放射強度 [Bq]

$N$   $t$  秒之後餘下未衰變的核的數目

$N_0$  原本未衰變的核的數目

$t$  時間 [s]

但其實等式  $A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\text{半衰期}}}$  和  $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\text{半衰期}}}$  中的  $\frac{1}{2}$  可以換成任何正數  $x$ ，而只須在指數乘以一個適當的數字  $c$ ，等式便會回復原貌。證明如下：

證明：

科學習慣上通常選取  $e$  代替  $\frac{1}{2}$ ，這樣  $c$  便等於  $\ln\left(\frac{1}{2}\right)$ ，又或寫作  $-\ln 2$ 。所以

$$A = A_0 e^{-k t} \quad N = N_0 e^{-k t}$$

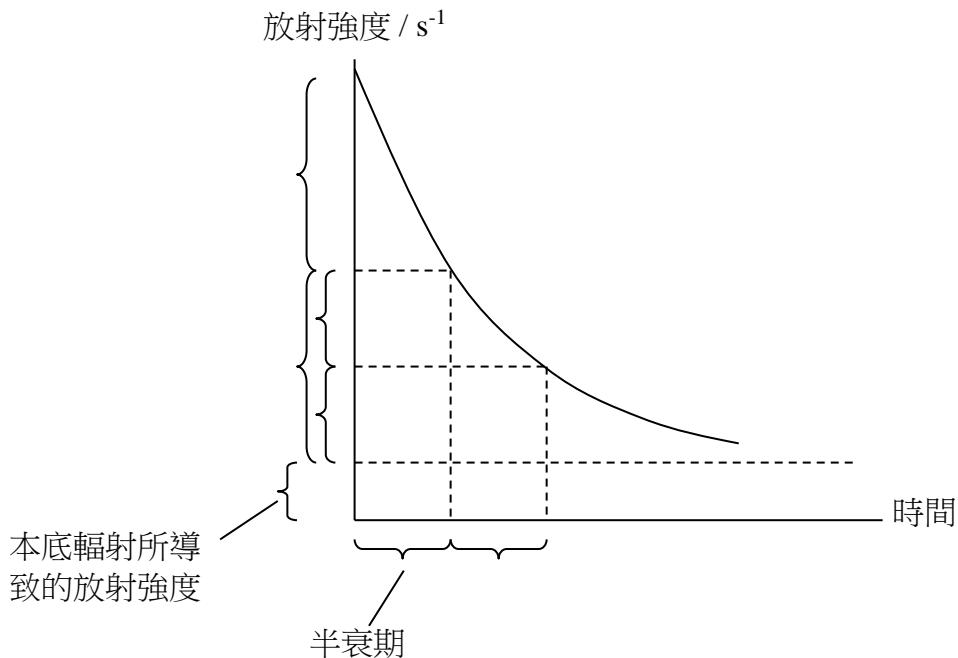
其中

$$k = \frac{\ln 2}{\text{半衰期}}$$

$k$  稱為衰變常數，單位亦為 [Bq] 或  $[s^{-1}]$ 。衰變常數與半衰期一樣，是物料的性質，所以這兩個數量本身不會隨時間增減。

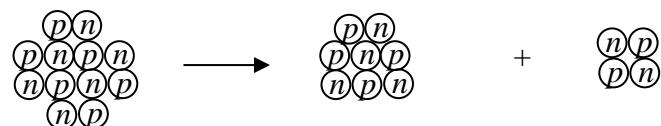
實際量度時，難免受到附近環境的放射物質影響，它們放出的輻射稱為**本底輻射**。通常本底輻射不會隨時間增減。本底輻射主要來自(1)宇宙射線和(2)附近天然存在的放射物質。

如果量度時包含了本底輻射，上圖會變成：

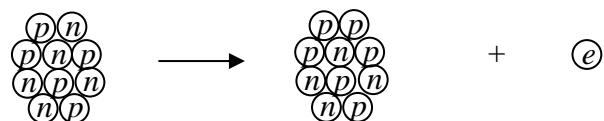


不同衰變反應會放出不同的輻射粒子，常見有 $\alpha$ 、 $\beta$ 及 $\gamma$ 粒子。

在 $\alpha$ -衰變中，2個中子及2個質子從母核中分離，自成一個氦核（即 $\alpha$ 粒子）。所以質量數會減4而原子序會減2。



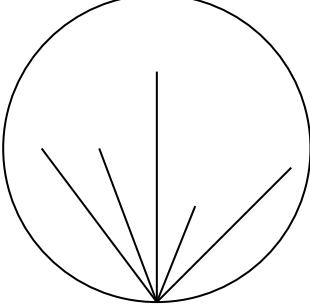
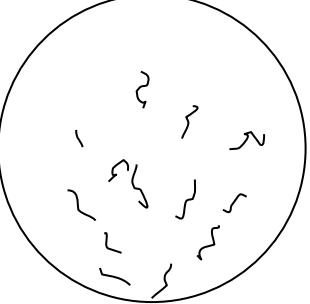
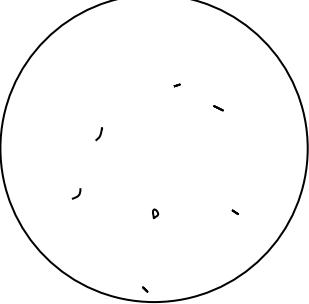
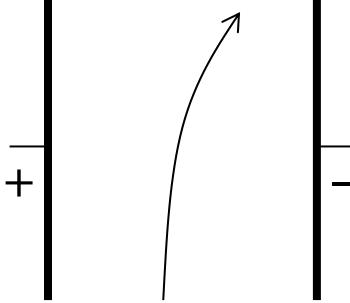
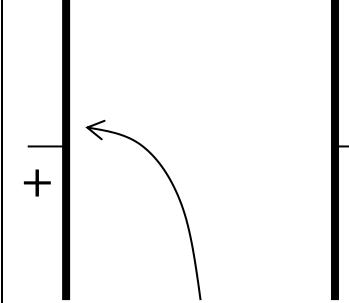
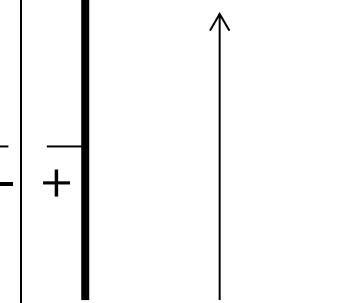
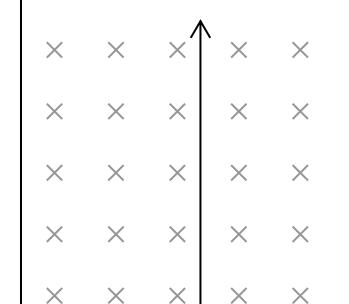
在 $\beta$ -衰變中，母核中其中一個中子「分裂」成一個質子及一個電子，質子會留在母核內，而電子（即 $\beta$ 粒子）會射出外。所以質量數會不變而原子序會加1。



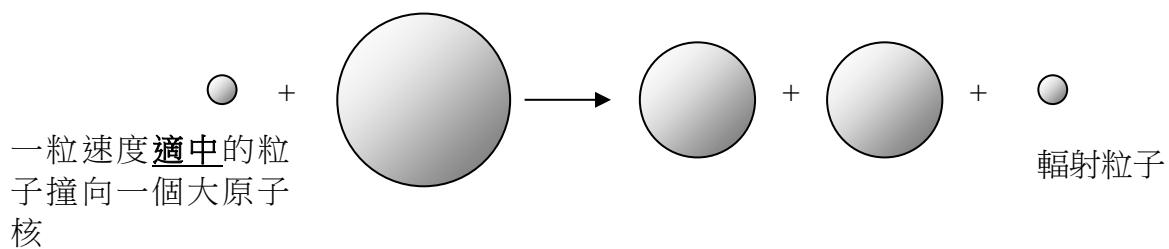
在 $\gamma$ -衰變中，母核中的中子和質子重新排列，以降低能量。多出來的能量以電磁波（即 $\gamma$ 射線）射出。所以質量數和原子序均不變。



下表總結三種衰變輻射的各項性質：

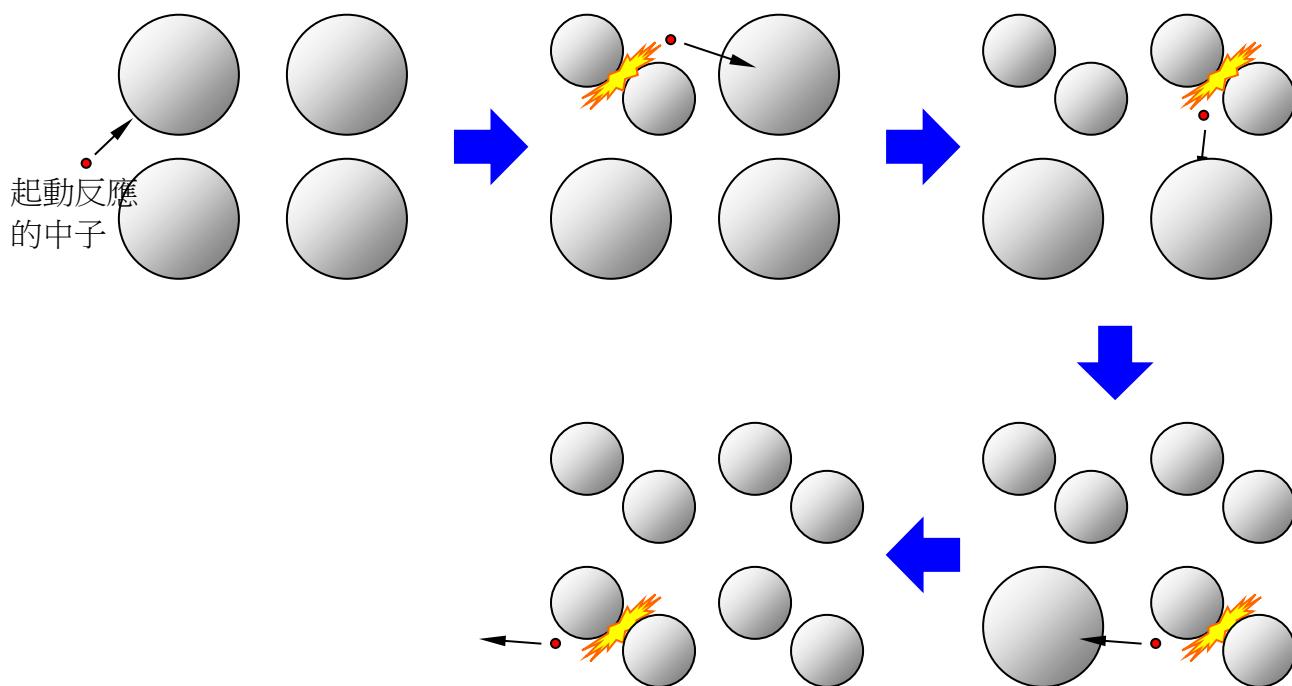
	$\alpha$ 輻射	$\beta$ 輻射	$\gamma$ 輻射
性質	${}^4_2\text{He}$ (氦原子核)	${}^0_{-1}\text{e}$ (電子)	電磁波
在空氣中的穿透距離	數 cm	數 m	數 100 m
合理阻隔所需的物料	一張紙	5 mm 厚的鋁	25 cm 厚的鉛
電離能力	強	中	弱
在雲室中所見蹤跡			
在電場中的行徑			
在磁場中的行徑 (設磁力線垂直指入紙面)			
應用	<ul style="list-style-type: none"> <li>用在煙霧感應器中。</li> <li>混在螢光物料中使它們發光。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>量度金屬片的厚度</li> <li>作為放射性藥物殺死癌細胞。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>用在外科手術殺死癌細胞。</li> <li>作為醫學示蹤劑。</li> </ul>

- 裂變



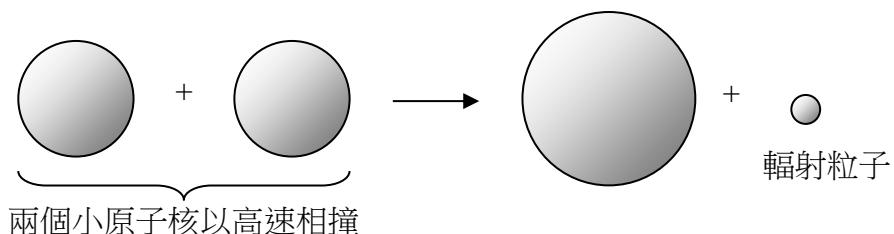
大的原子核通常都不穩定，如果被粒子（例如速度適中的中子）撞擊會分裂成多個較小的原子核，並放出的一些輻射粒子（例如高速的中子和 $\gamma$ 粒子）。

現時的核電廠使用聚變鏈式反應獲取能量：



其實通常裂變反應放出的中子的速度太高，不能引發下一個核進行裂變。所以核堆中會混入減速劑，使中子穿越時減速。另一個問題是通常一個裂變時會放出的多個中子，核堆一旦發生鏈式反應，便會越來越快，最後不受控制。所以要在核堆放入可以抽出和插入的控制劑。核堆太熱時插入控制劑阻擋中子，太冷時抽出控制劑讓多些中子引發裂變。

- 聚變



兩個小原子核以高速（即高溫）相撞，它們熔合成一較穩定的大原子核。太陽放出的能量便是由聚變產生。

### 3. 輻射測量儀器

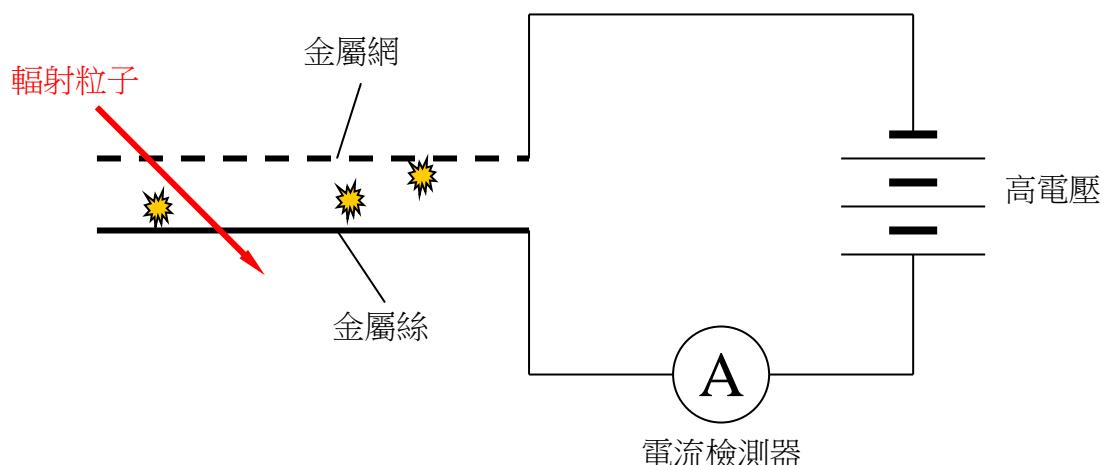
- 感光底片

輻射會使感光底片變黑。

- 螢光紙

$\alpha$ -輻射會使螢光紙發光。

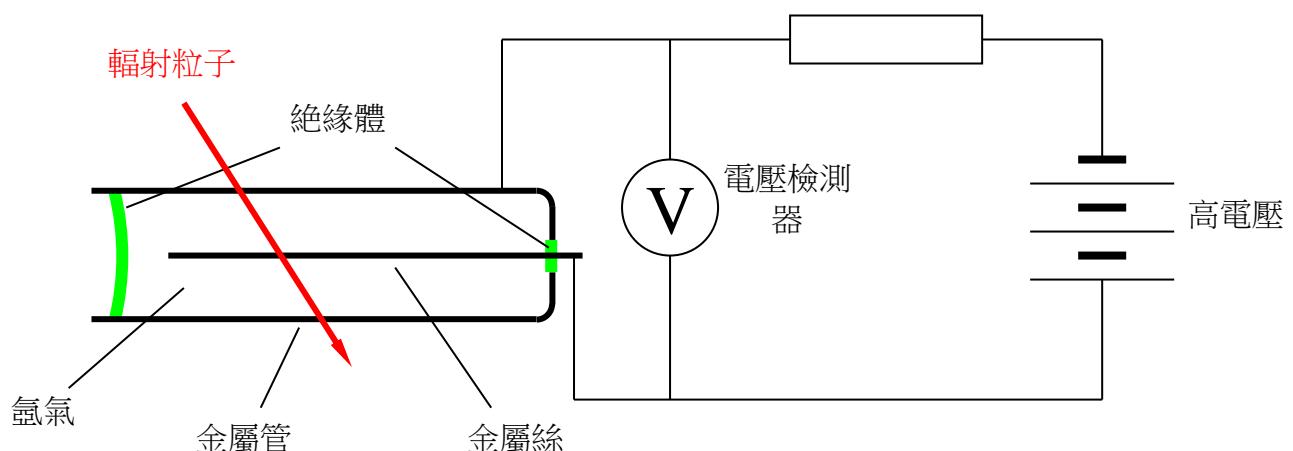
- 電離室



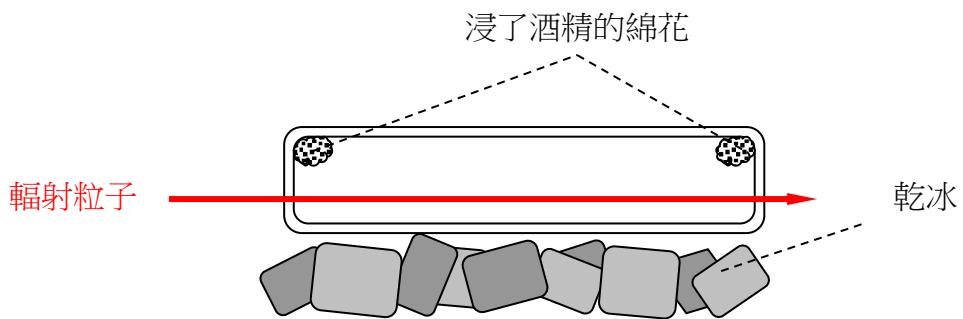
當輻射粒子擊中空氣粒子時，會把空氣粒子電離，當正離子被吸進金屬網；負離子被吸進金屬絲，電路短暫導電。電流檢測器會數算有多少次這樣的短暫電流。

- 蓋革-彌勒計數器

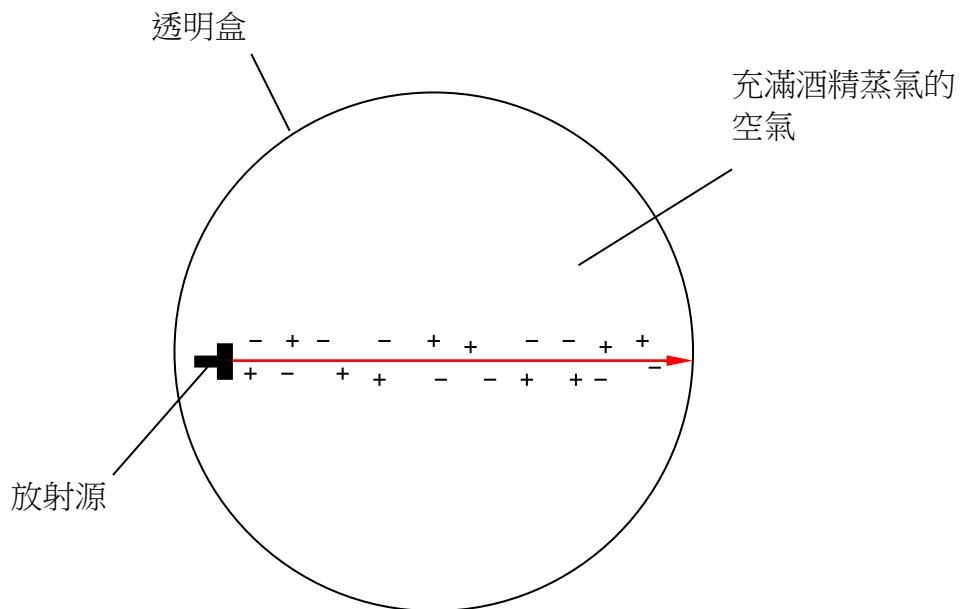
原理與電離室相同，但以氬氣取代空氣加強效果。



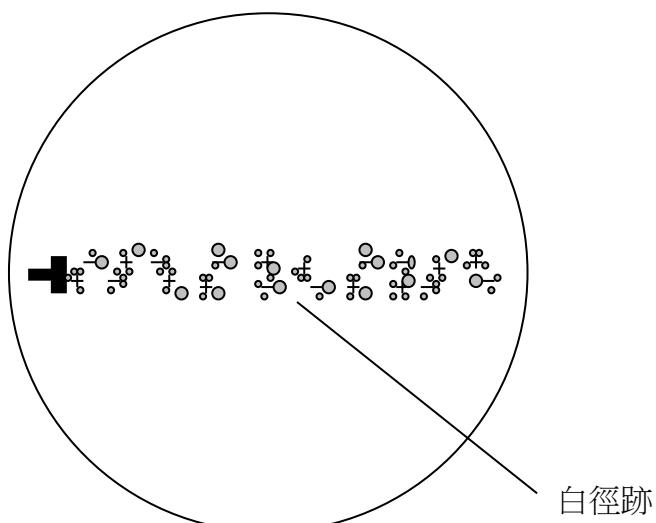
- 雲室



由於乾冰使盒內下方的溫度降得很低，下沉的酒精蒸氣使盒內底部的空氣變成超飽和。當輻射粒子擊中盒內空氣粒子時，會把空氣粒子離子化，在途中產生正和負離子。



超飽和的酒精蒸氣粒子受到離子的干擾便會凝結成液珠，液珠會形成一條白徑跡。



#### 4. 輻射安全性

- 警告標誌



- **有效劑量**

由於輻射對人體的影響，除了視乎擊中人體的輻射粒子數目外，還視乎輻射粒子的種類。由於  $\alpha$  輻射的電離能力很強，所以對人體的傷害最大， $\beta$  輻射對人體的傷害較小， $\gamma$  輻射對人體的傷害最小。**有效劑量**是量化輻射對人體造成的傷害（量化輻射對人體傷害的具體數學方程式在此不談），單位為 Sv。

- 使用放射源的安全措施

- (1) 穿膠手套，用後膠手套不可帶離實驗室。
- (2) 用專用鉗子拿取放射源，不可用手直接拿取。
- (3) 不可把放射源向著他人，不可近距離觀察放射源。
- (4) 放射源使用完後，盡快放回容器內，並把容器放回儲存櫃內。

#### 5. 質能關係

以下為物質的質量減少與過程中放出的能量能的關係。此式的由來及證明遠超中學程度，故不作任何說明。

$$\Delta E = (\Delta m) c^2$$

$\Delta E$  放出的能量 [J]

$\Delta m$  減少的質量 [kg]

$c$  光速  $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$