

# 認識輻射及輻射安全防護

陳朝志 輻射防護師



# 大綱

- ※ 認識輻射
- ※ 輻射的生物效應
- ※ 輻射安全防護
- ※ 法規介紹



# 為什麼談『輻』色變？

※ 看不見

※ 聽不到

※ 摸不著

※ 聞不到

※ 感受不到

※ 對輻射不了解

您看不到我



# 輻射是什麼？

☆ 輻射(radiation)：

★ 能量以波或是高能粒子的型態，在真空或介質中傳送。

☆ 依據能量高低及游離物質的能力分為：

★ **游離輻射**(ionizing radiation)：

- 能量較強，能使物質產生游離作用，能破壞細胞分子。

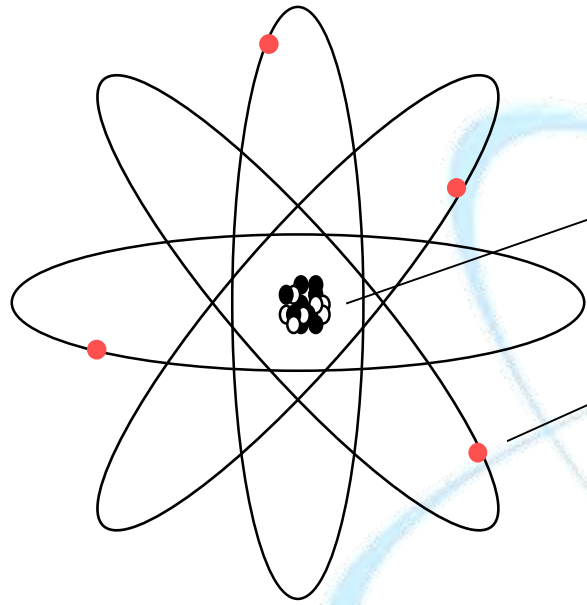
★ **非游離輻射**(non-ionizing radiation)：

- 與生物體之間的作用以熱效應及非熱效應為主，其效應不足以破壞細胞分子。

☆ 生活中提及的『**輻射**』，通常是指**游離輻射**；

而一般所說的『**電磁波**』，通常是指**非游離輻射**。

# 波耳的原子模型

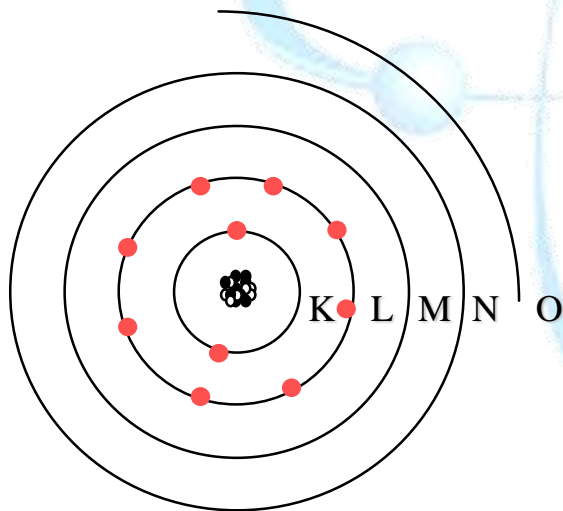


原子核 — 質子 (正電)  
                  — 中子 (中性)

電子 (負電, 軌道運動)

原子的中心為原子核，內含質子和中子，體積很小但質量很大。外面有電子，像行星繞太陽一般，循著固定的軌道繞著原子核旋轉。

原子核內質子數和中子數的總和稱作質量數，例如鈷 60，記成  $^{60}\text{Co}$ ，它有 27 個質子(p)和 33 個中子(n)，其質量數為 60。





# 游離輻射與非游離輻射

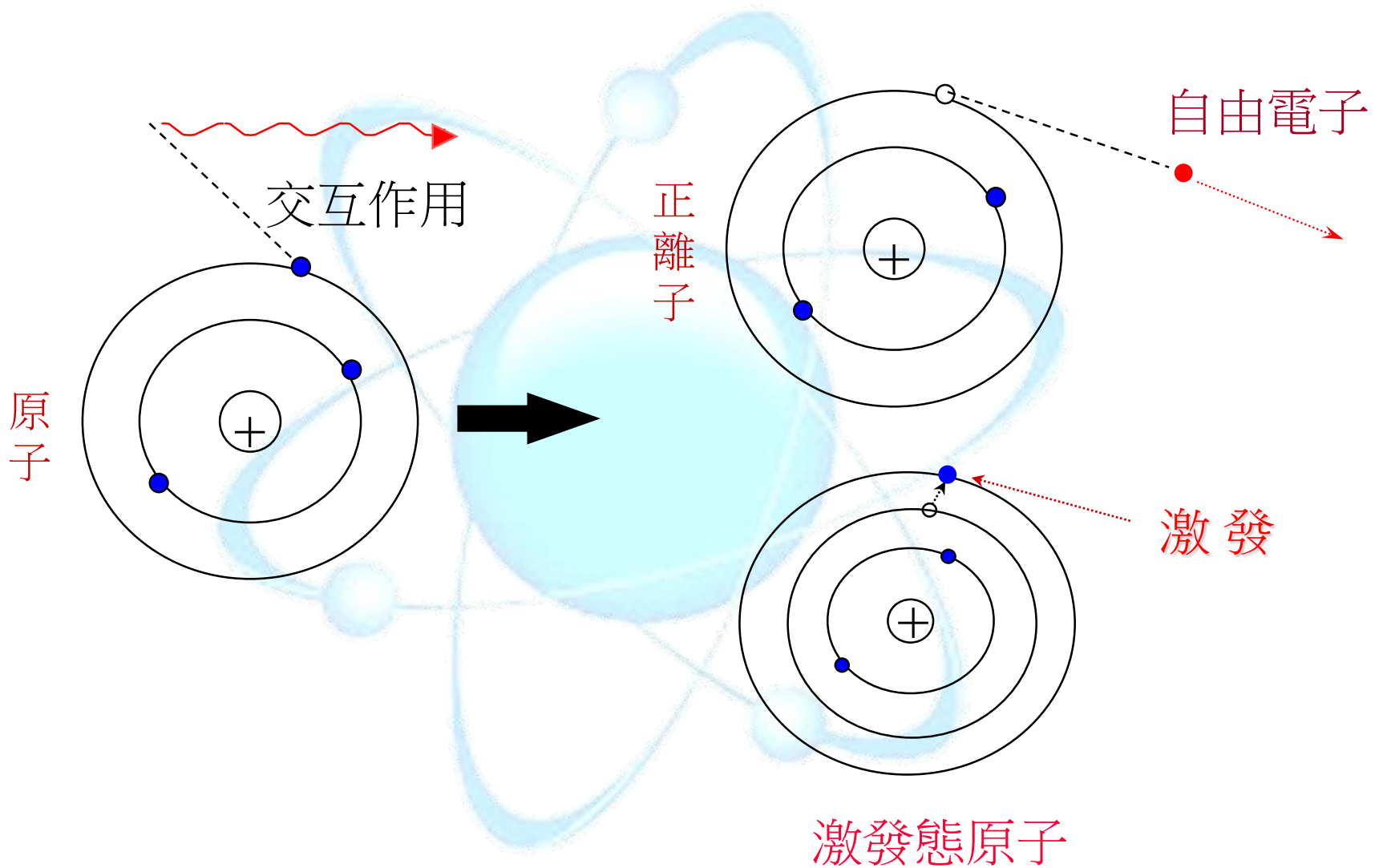
- ☆ 在原子結構裡的電子，都具有不同的能量。不論這些能量如何大，一定是小於原子核對這個電子的**束縛能**(binding energy)，否則這個電子就會離開原子而跑掉了。
- ☆ 但是當原子裡的電子，自輻射獲得的能量，大於原子核對它的**束縛能**以後，電子就會離開原子而射出，使原來呈中性原子，變成一帶正電(**少掉一個電子的原子本身**)和一帶負電(**射出的電子**)的離子對(ion pair)。
- ☆ 這種作用，就稱為游離(ionization)。**能造成游離作用的輻射稱為游離輻射**(ionizing radiation)。

# 游離輻射與非游離輻射

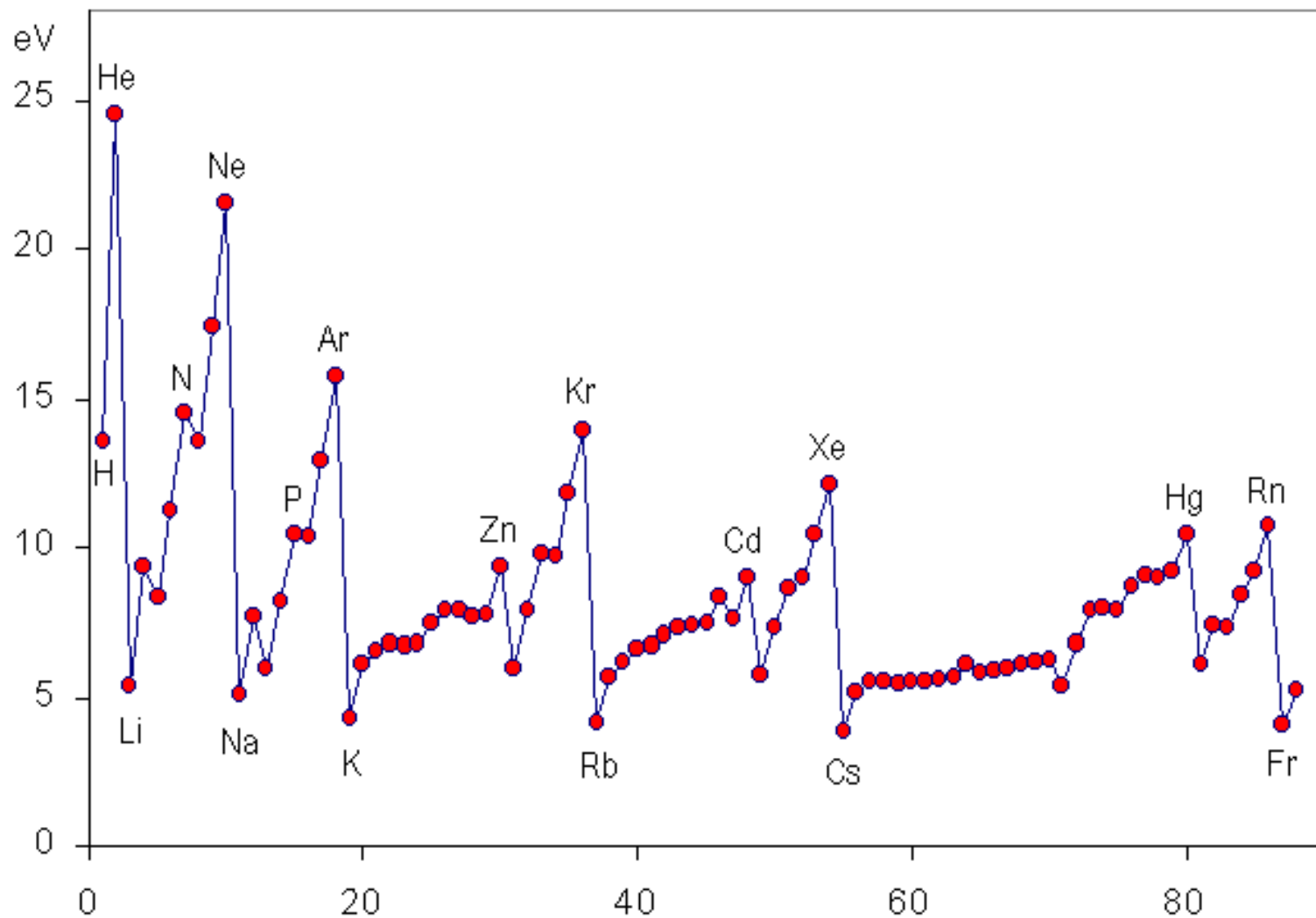
- ☆ 假如電子自輻射所獲得的能量，不足以使電子離開原子核的束縛，只能使電子在**原位置振動**，或離開原位置**跳到較高的能階上去**，這種作用稱為**激發**(excitation)。
- ☆ 只能造成激發作用的輻射，稱為**非游離輻射**(non-ionizing radiation)。
- ☆ 由於物質結構的差異，輻射對不同物質產生游離作用所需要的能量並不相同。例如使空氣產生一離子對所需的能量為33.85 eV，而要從鎢原子移走1個K層電子，則必須供給鎢原子70 keV的能量。



# 游離與激發



# 各種原子的第一游離能



# 非屬原子能游離輻射管制網

訊息公告

電磁波知識

電磁波法規

量測資料

相關連結

知識交流區

基本常識

管制現況

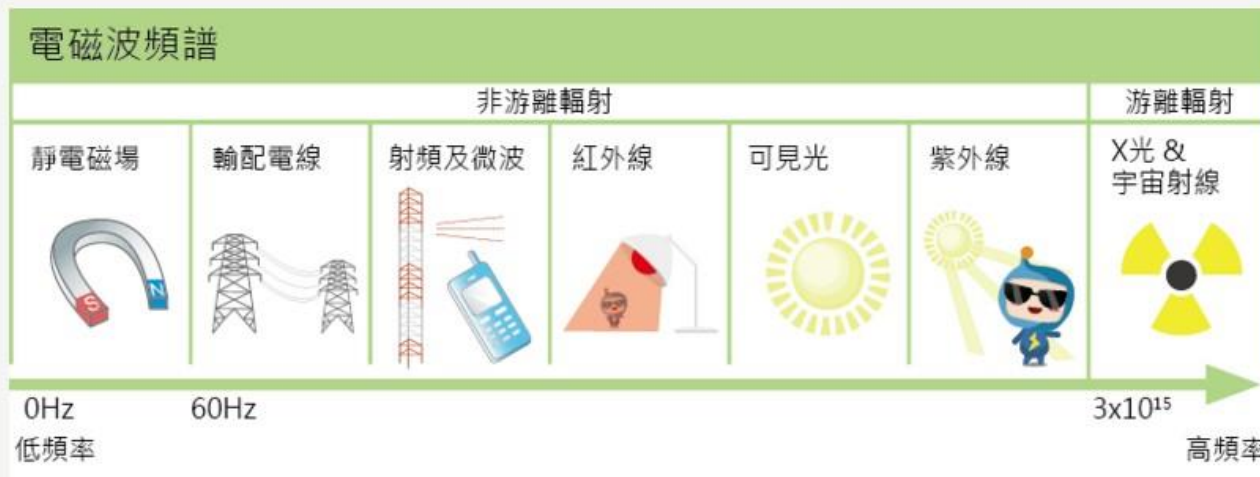
問題分類：什麼是電磁波、電磁波從哪裡來、電磁波對我們有什麼影響、名詞解釋

## 一、什麼是電磁波？

「電磁波」是由電場與磁場交互作用所產生，屬能量的一種。它以波的形式接近光的速度輻射傳遞，自古以來就以各種面向存在於大自然。

電磁波可分為「游離輻射」和「非游離輻射」。游離輻射係指頻率大於 $3 \times 10^{15}$ 赫(Hz)的電磁波，一般常稱呼為輻射或放射線。最為人所知的游離輻射就是X光，它的頻率比起非游離輻射高的多，其光子能量強到足以藉由打斷細胞內各種分子的原子鍵而產生游離化，必須嚴格防護，因此醫院的X光室都有鉛板屏蔽，避免輻射外洩。

非游離輻射係指頻率小於 $3 \times 10^{15}$ 赫的電磁波，一般俗稱電磁波者皆屬此類。它的能量較微弱，無法打斷原子的鍵結產生游離化。按照頻率／光子能量高到低的順序，非游離輻射的族群可分為紫外線(UV)、可見光、紅外線(IR)、微波(MW)、射頻(RF)、極低頻(ELF)、以及靜電場與靜磁場。另外極低頻由於波長非常長，約5000公里，所以通常稱為電磁場。



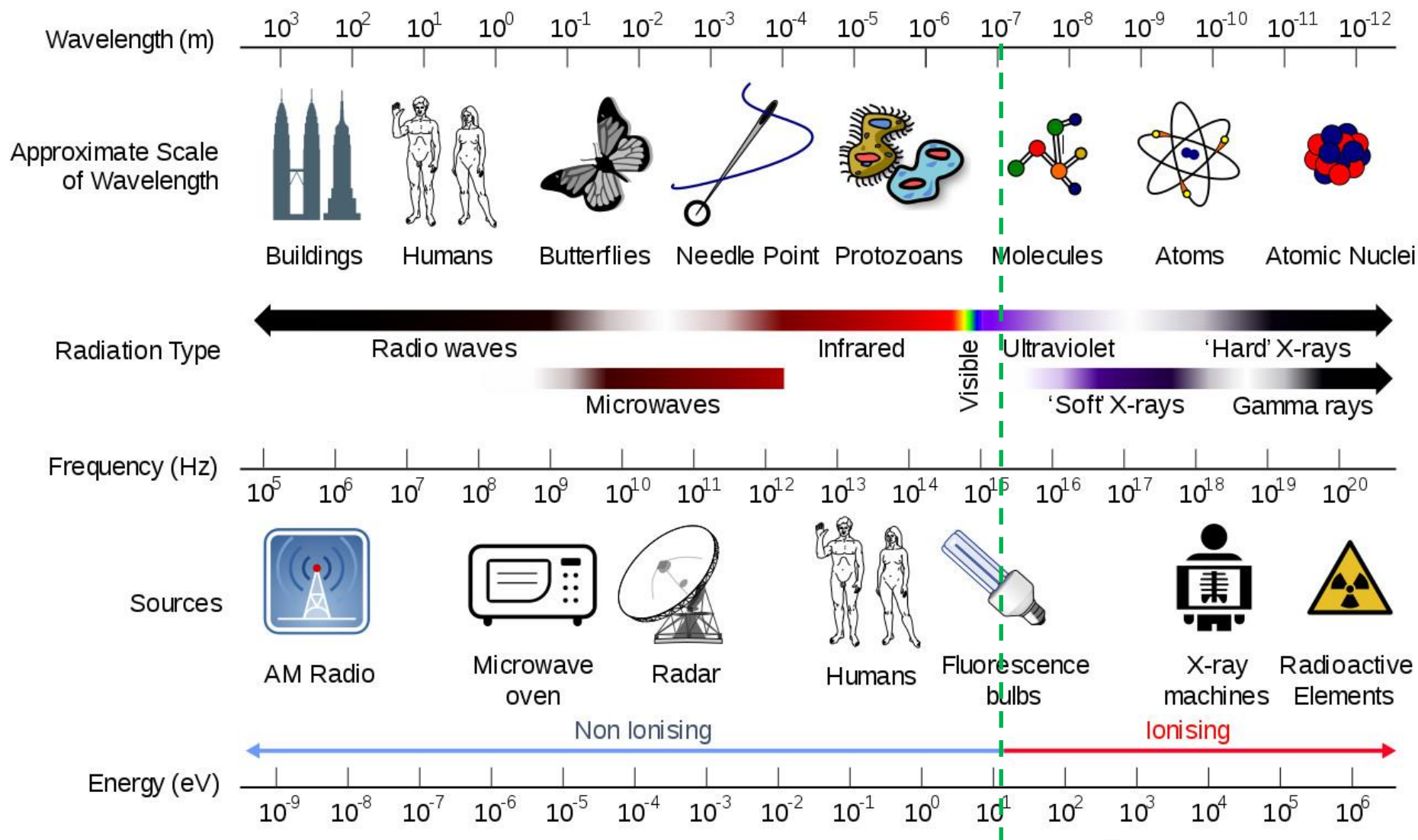
# 能量與頻率、波長的轉換

頻率  $3 \times 10^{15}$  赫(Hz)的電磁輻射，其能量等於 12.4 電子伏特 (eV)或是波長等於 100 奈米(nm)。

$$E = h \nu = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times \frac{3 \times 10^{15}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} = 12.4 \text{ eV}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{3 \times 10^{15} \text{ /s}} = 1 \times 10^{-7} \text{ m} = 100 \text{ nm}$$

# 輻射頻譜





# 我國各部會權責分工

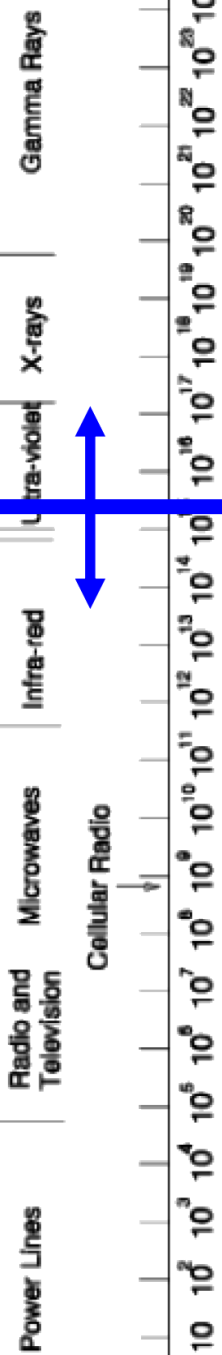


## ★ 游離輻射-原子能委員會



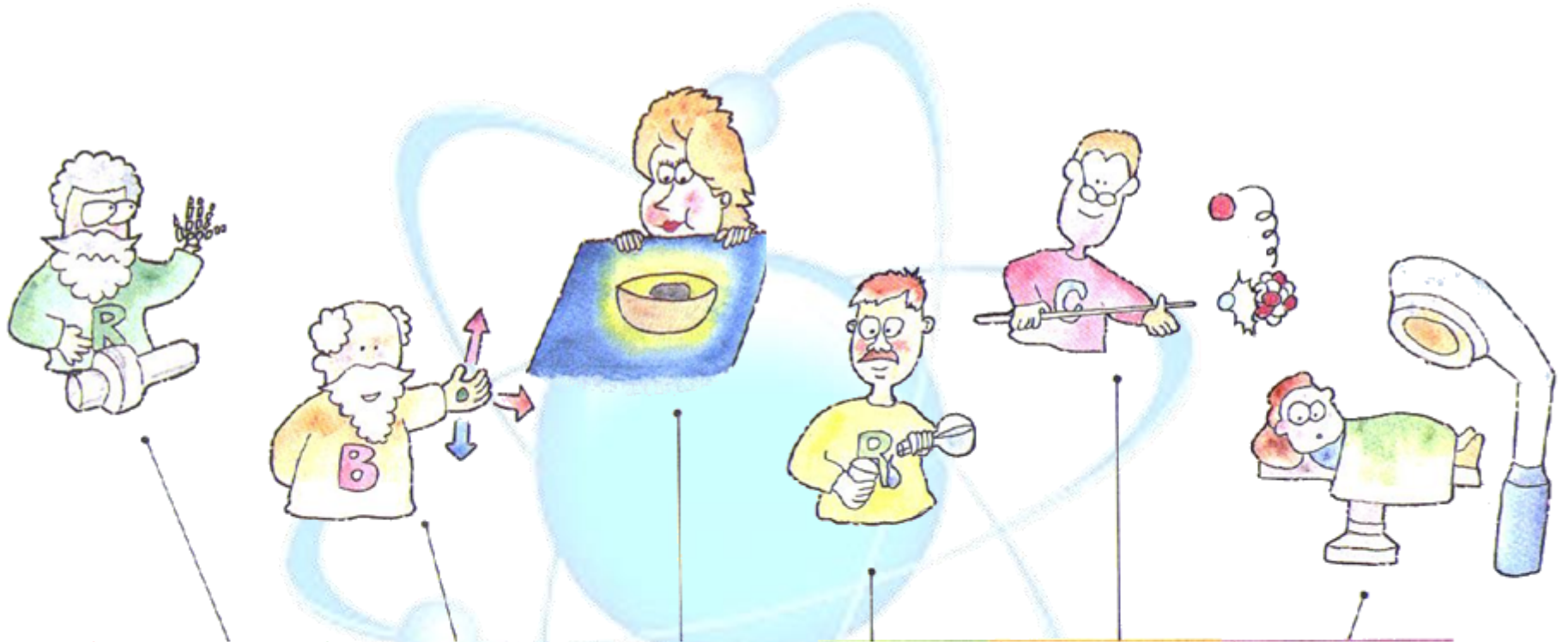
## ★ 非游離輻射

- ★ 衛生福利部-非游離輻射對人體健康之對策
- ★ 環境保護署-非游離輻射對環境影響及監測
- ★ 國家通訊傳播委員會-通訊傳播事業營運之監督管理、頻道分配及證照核發
- ★ 經濟部-電業設備(高壓輸配電線、變電所)及電器產品之管理
- ★ 勞動部-非游離輻射在職業場所對勞工影響之對策





# 游離輻射發現史



1895

德國物理學家倫琴發現X光

1896

法國物理學家貝克發現天然物質的放射性

1898

居里夫人自天然鈾礦尋得鈾與鐳二種放射性元素

1899

拉塞福發現 $\alpha$ 、 $\beta$ 粒子

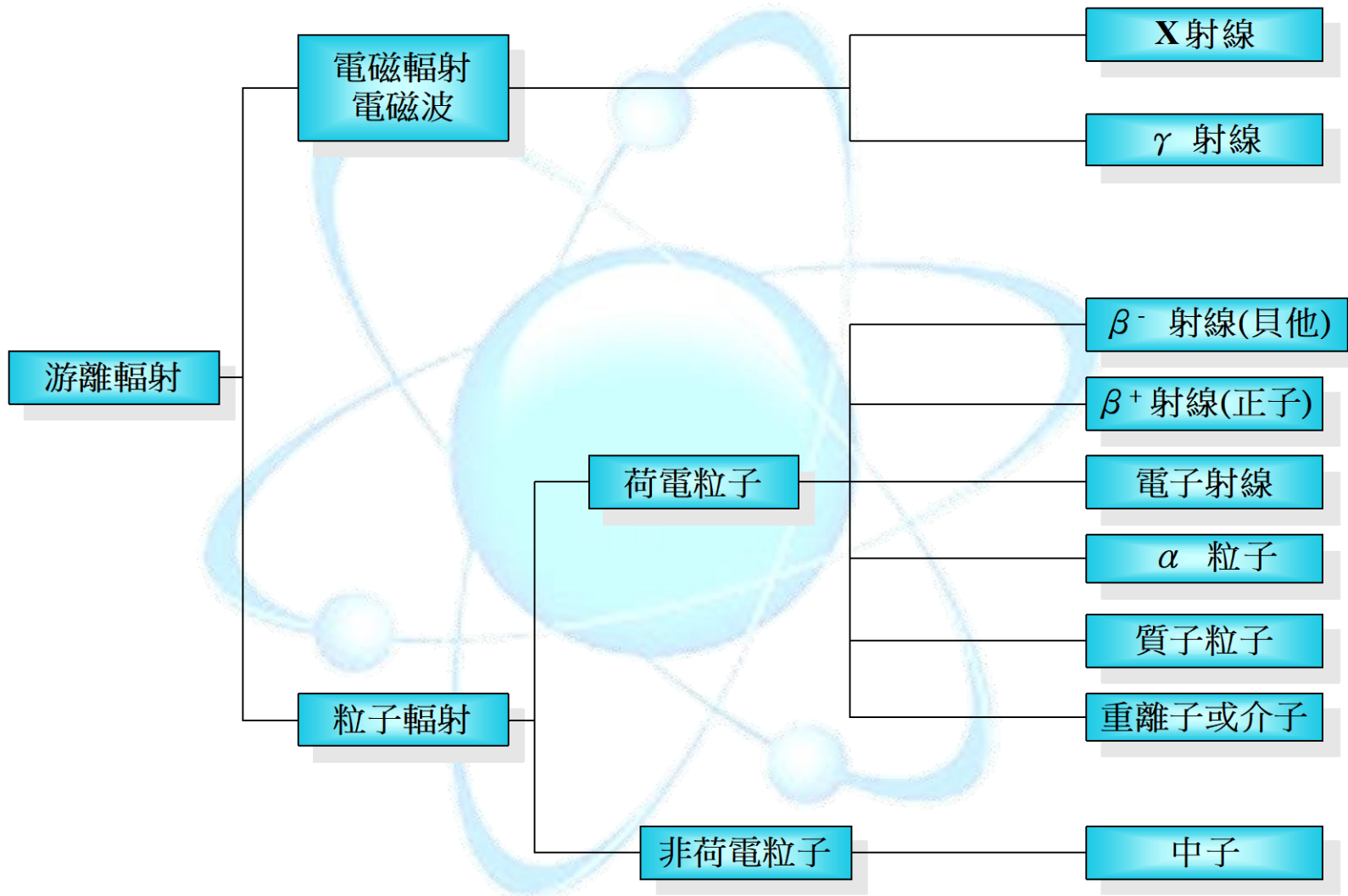
1932

查兌克發現中子

1953

利用鈷六十治療癌症首先被引用

# 游離輻射的分類



# 游離輻射的產生

不論自然發生或用人為方法都可以產生游離輻射，其主要產生方式可分為：

- ☆ 原子核衰變-放射性物質
- ☆ 電磁場作用-可發生游離輻射設備
- ☆ 核分裂
- ☆ 核融合

# 原子核的衰變

☆ 當某一元素原子核裡中子或質子的數目超過使該原子核能穩定存在的狀況時，或者部分核子所處的能階高於使該原子核穩定存在的能階時，此不穩定的原子核就會進行衰變，在衰變過程中，可能釋放出 $\alpha$ 粒子、 $\beta$ 粒子或 $\gamma$ 射線，直到能形成穩定的原子核時為止。

# $\alpha$ 粒子

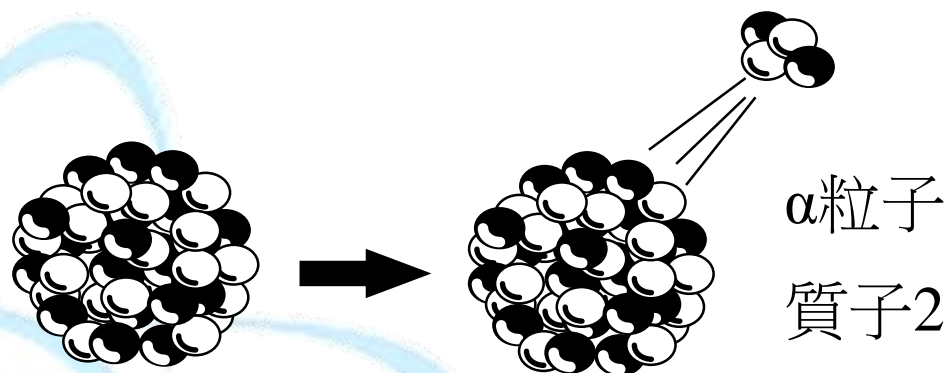
☆ 原子核進行  $\alpha$  衰變

☆ 氦原子核 ( $\text{He}^{2+}$ )

☆ 游離能力強

☆ 能量消失快

☆ 人體皮膚或一張紙即可擋住



鐳 226

質子  $p = 88$

中子  $n = 138$

氡 222

質子  $p = 86$

中子  $n = 136$

$\alpha$  粒子

質子 2

中子 2



# β 粒子

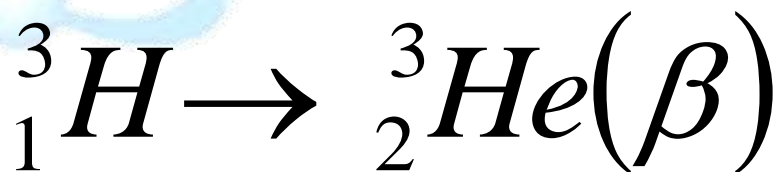
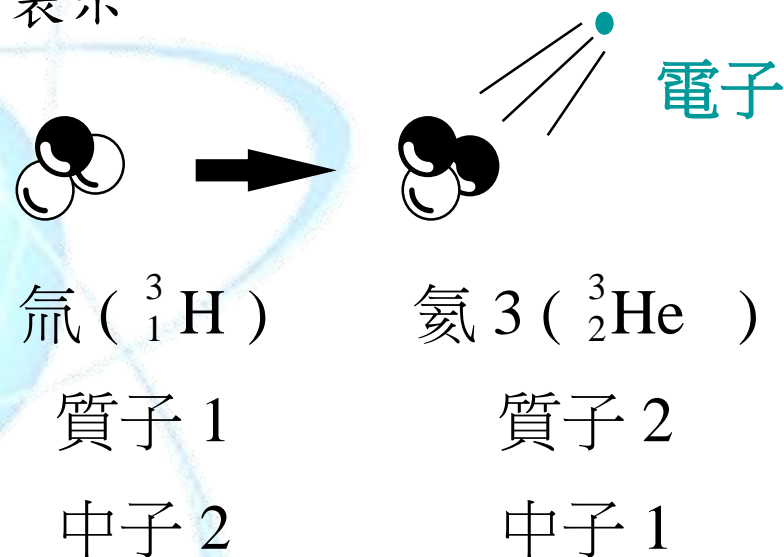
☆ β 衰變時原子核釋放出的高能電子

☆ 帶一負電荷或正電荷，以  $\beta^-$  或  $\beta^+$  表示

☆ 游離能力較  $\alpha$  粒子差

☆ 穿透力高於  $\alpha$  粒子而低於  $\gamma$  射線

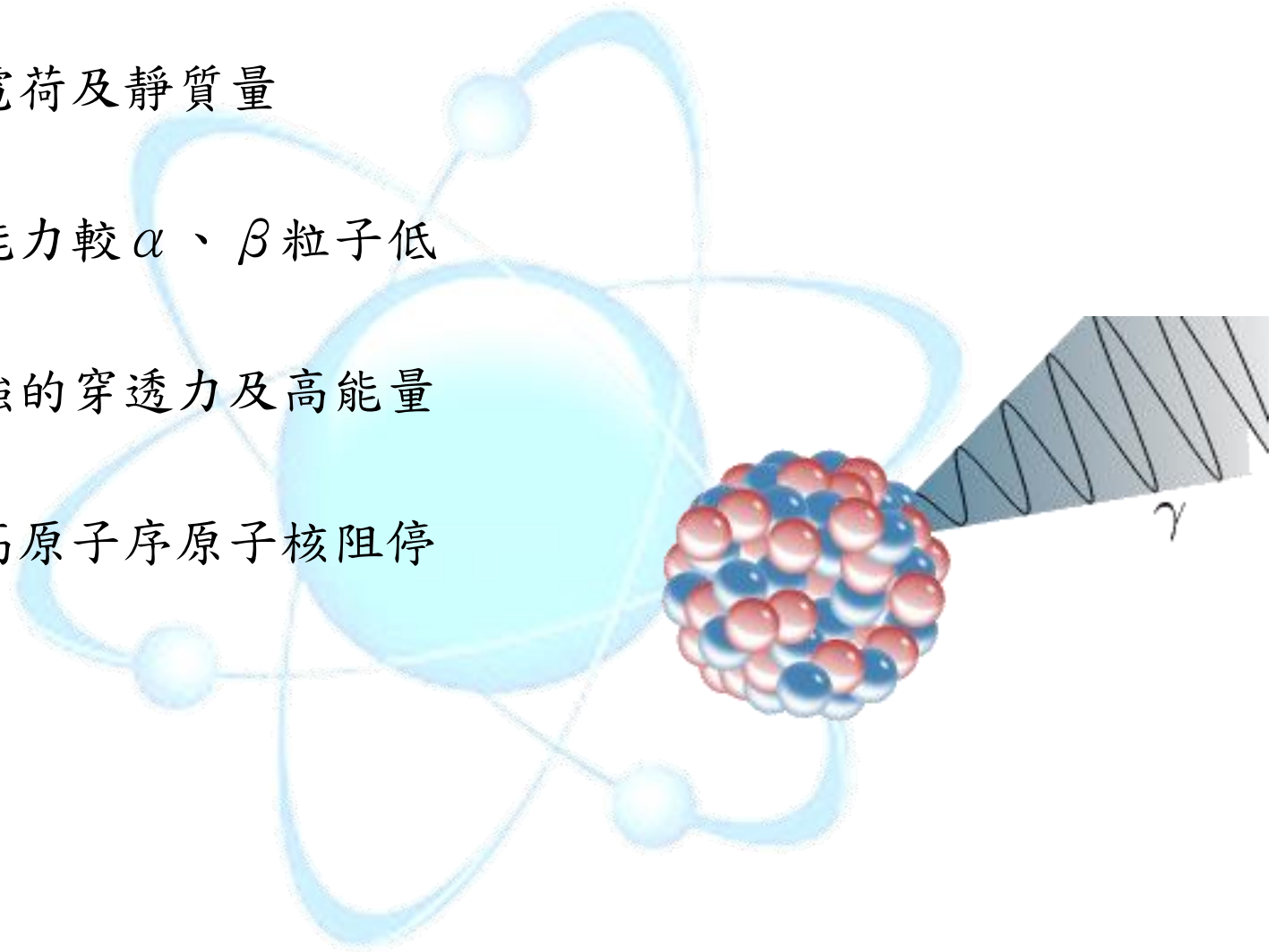
☆ 一塊鋁版即可擋住





# $\gamma$ 射線

- ☆ 不具電荷及靜質量
- ☆ 游離能力較  $\alpha$ 、 $\beta$  粒子低
- ☆ 有極強的穿透力及高能量
- ☆ 可用高原子序原子核阻停



# 放射性核種的特性

☆ 放射性核種能自發放岀輻射，並衰變成另一核種，如：



☆ 半衰期是指某放射性核種的原子數目衰減到它初始值一半所需要的時間，通常以 $T_{1/2}$ 來表示。每一種放射性核種都具有一定之半衰期，如 ${}^{238}\text{U}$ 的半衰期為45億年， ${}^{60}\text{Co}$ 的半衰期為5.26年， ${}^{198}\text{Au}$ 的半衰期為2.69天。

☆ 放射性核種的原子數目隨時間呈指數衰減：

$$N=N_0e^{-\lambda t}, \quad T_{1/2}=0.693/\lambda$$

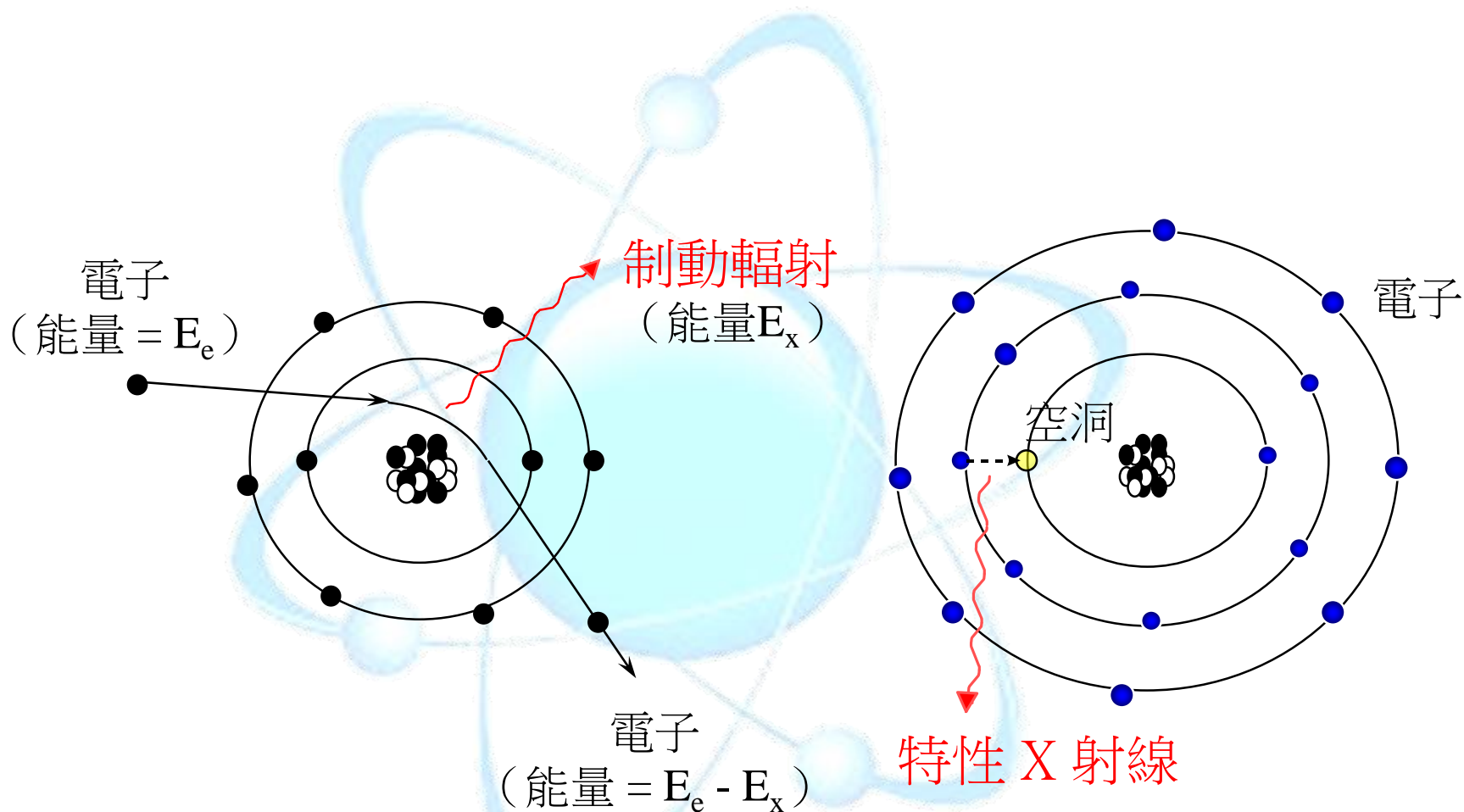
# 電磁場作用

☆ X射線：

**制動輻射**：高速運動的帶電粒子(如 $\beta$ 粒子)在物質中運動，當它靠近原子核時，由於受到原子核庫倫場的作用而減速並改變其方向，所損失的能量會以電磁波的形式發射出來，稱為制動輻射。此種X射線的能譜為連續分布。

**特性輻射**：當高速高能電子撞擊原子中的電子，使被撞擊電子脫離原本的原子能階，而該層出現空位時會造成高能階電往下遞補，此時損失的能量將轉換成特性輻射。

# X射線



# 電磁場作用

☆ 粒子加速器：粒子加速器 (particle accelerator) 是利用電磁場加速帶電粒子如：電子、質子、離子等，獲得極高的能量而成為游離輻射。其作用原理一般是經多次小範圍的加速，最後使粒子的能量升至數MeV甚至數百GeV( $10^9$  eV)。粒子加速器的種類很多，如直線加速器 (linear accelerator)、迴旋加速器 (cyclotron)、同步迴旋加速器 (synchrotron)、離子佈植機等。

# 核分裂與核融合

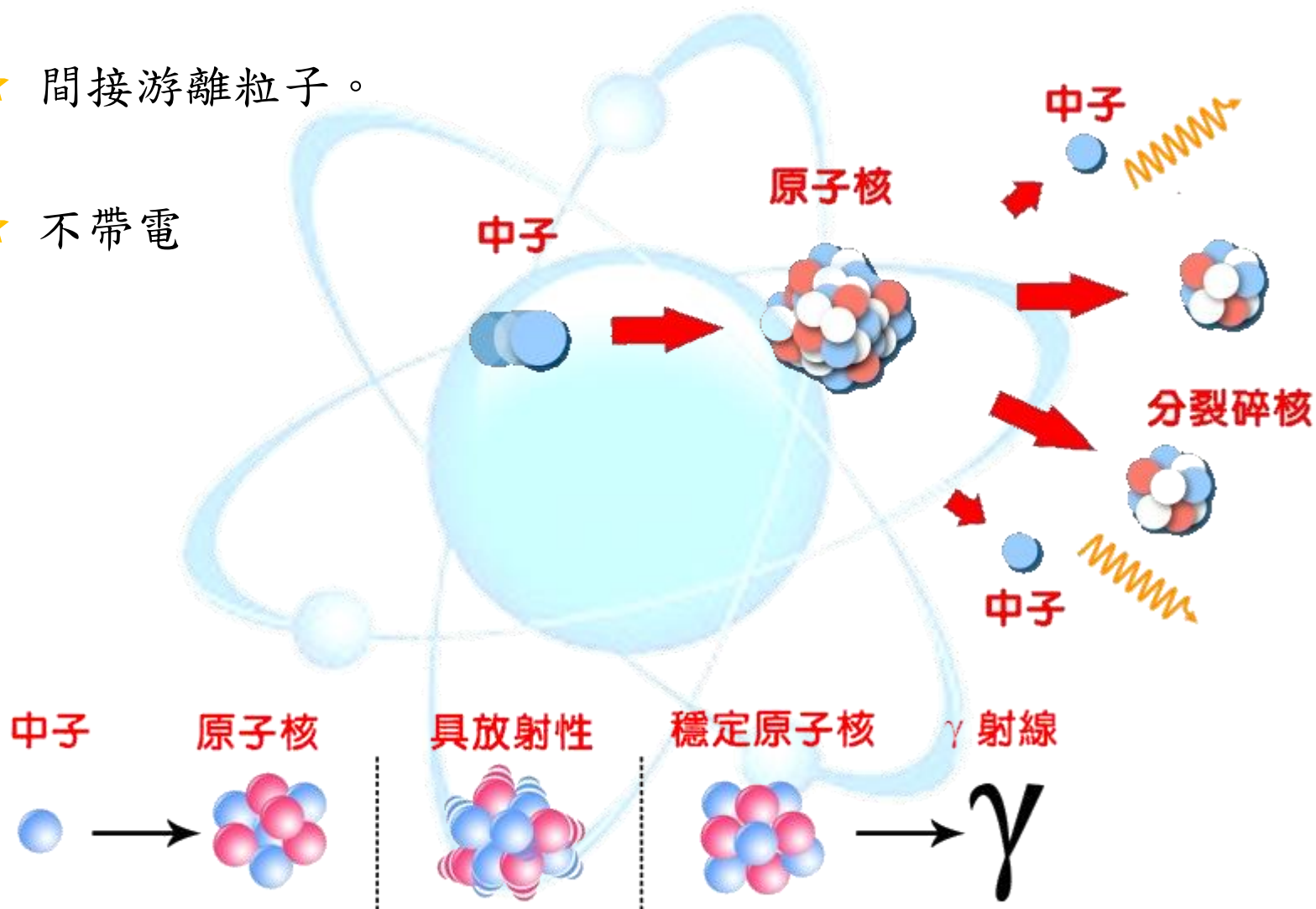
- ☆ 某些重同位素的原子如鈾235及鈾239等，其原子核經中子撞擊以後可使其分裂為二或三塊**分裂碎片**及2~3個**中子**及大量的能量( $\gamma$ 射線)，這種現象我們稱之為核分裂(nuclear fission)。
- ☆ 與核分裂相反的是核融合(nuclear fusion)，質量極小的原子如氫、重氫、氘及氦等，在某些情況下可以融合成一較重的原子，在作用過程中也有一部分質量轉變為能量放出來，這就是核融合。



# 中子

☆ 間接游離粒子。

☆ 不帶電





# 生活中游離輻射的來源

## ☆ 天然輻射：

- ☆ 宇宙射線
- ☆ 地表輻射
- ☆ 氡氣
- ☆ 體內輻射

## ☆ 人造輻射：

- ☆ 醫療輻射
- ☆ 核爆落塵
- ☆ 核能發電



# 宇宙射線

當來自外太空且穿透力強的高能粒子射入地球時，稱為一次宇宙射線；而後因與地球上空大氣中的原子碰撞產生的二次粒子與電磁波，稱二次宇宙射線。

通常宇宙射線會受到大氣層的阻擋而減弱，但在高海拔地區因大氣稀薄，輻射線較強（一般地區每上升1500公尺，輻射劑量約增加一倍）。

像臺灣阿里山的宇宙射線強度即為海平面的 2.5倍，而玉山頂所受的劑量約為平地的 5倍。此外高緯度地區的宇宙射線也較低緯度地區強。



# 地表輻射

在地表的土壤、岩石及動植物體內都含有微量的放射性物質例如鈾-238(半衰期45億年)、釷-232(半衰期140億年)、以及鉀-40(半衰期13億年)等，臺灣地區像千枚岩、頁岩、板岩及黑色片岩等即屬輻射劑量較高的岩類。

地表輻射劑量的分佈一般因地質狀況而異，例如臺灣北投區的地熱谷，其溫泉水中即含較多的放射性物質；另外輻射也會隨著人類建設而改變，如交通建設或房屋建築等。

# 氡氣

屬於鈾系與釷系元素衰變過程中的產物，因為土壤和岩石裡都含有少量的鈾與釷，而建材也多為土壤或岩石之製品，所以我們的居住環境中亦難免有氡氣的存在。氡氣是天然輻射的最大來源，而氡氣蛻變所產生的子核種 - 釷，是一種導致肺癌的元素。為了不使室內氡氣濃度過高，保持室內空氣之流動暢通是最好的方法。



# 體內輻射

人體體重中約有0.2%是鉀，鉀中的0.012%是具有放射性的鉀40。此外我們每日的飲食中也會攝入放射性的核種，這些都是會造成我們受到體內輻射的來源，但由於這些含放射性物質的食物持續被攝食、排洩、衰變，進入人體與排出人體的放射性核種將達成平衡，使體內的輻射維持一定值。

# 醫療輻射

人造輻射中，醫療輻射占主要來源，包括：

☆放射線治療設備

直線加速器、近接治療、加馬刀

☆同位素診斷

核醫檢查、正子造影

☆同位素生產、核醫藥物製造

迴旋加速器製藥設施

# 核爆落塵

自一九四五年七月美國首次進行核子試爆以來，核爆所產生的放射性落塵隨著氣流散布於大氣中，而遍及世界各地，經長時間沉降聚積於地球表面，使自然環境中增加了一些額外的人為輻射來源。

# 核能電廠

核能電廠的輻射來源，主要是核能電廠在運轉過程所排放帶有微量放射性的廢氣和廢水，及電廠內放射性廢料貯存場、核燃料和放射性廢料運送的微量輻射曝露。

# 輻射的應用

輻射與我們息息相關，很多時候我們不知不覺間已經享用到輻射應用所帶來的好處。無論在發電、醫療、工業方面，輻射的應用都多不勝數。只要運用得宜，輻射也可以造福社會。



# 原子能的民生應用

## 研究



微量元素分析



年代測定



示蹤劑

## 工業



非破壞檢測



厚度測定



夜光錶塗料

## 農業



食品照射



害蟲防除



品種改良

## 醫療



癌症治療



醫療用具滅菌



X光檢查



# 發電

目前世界各地的核能發電反應堆有大約四百四十個，供應全球所需電力的約百分之十七。這些發電廠主要利用鈾的原子核分裂而發電。

# 醫學

輻射在醫療上的用途為人所熟識，它可以協助醫生診斷及治療多種疾病。

## ☆ 診斷方面

X光

## ☆ 治療方面

碘-131、鈷-60

# 消毒

很多醫療用品都利用鈷-60所放出的 $\gamma$ 射線進行消毒。這種消毒程序比用蒸氣消毒更有效及便宜。用完即棄的針筒、棉花、手術用品就是很好的例子。由於不需經過高溫處理，很多會被高溫破壞的物料，例如塑膠等，都可以使用放射程序消毒。加上 $\gamma$ 射線有穿透能力，物件可以在包裝封密後才進行消毒，確保物件在解封前不會受到細菌污染。

# 工業

$\gamma$  射線穿透力特強，可用作探測焊接點和金屬鑄件的裂縫。

在工業生產線上的自動品質控制系統，例如測檢罐裝飲品內的飲料高度或香煙的煙草密度等，都廣泛應用了輻射。

輻射更可用於量度電鍍薄膜的厚度，也可用於消除靜電。

# 農業

放射性同位素經常被用作追蹤劑。將放射性物質加入肥料中，然後量度農作物的放射性，便可以知道有多少肥料被吸收，及有多少流失。

# 消費性產品

煙霧偵檢器利用鎂-241同位素放出的阿伐射線構成電路迴路，若發生火警，煙霧會阻斷阿伐射線，警報會響。(阿伐射線在空氣中射程很短極易被煙霧阻斷)



# 考古用途

透過度量古物內天然放射性物質的濃度，我們可以鑑定古物所屬的年代，常用的技術包括「碳-14定年法」和「熱釋光定年法」，對地質學、人類學及考古學的研究都有莫大的幫助。

# 軍事

## 核子武器





# 輻射的生物效應

# 輻射作用的分類

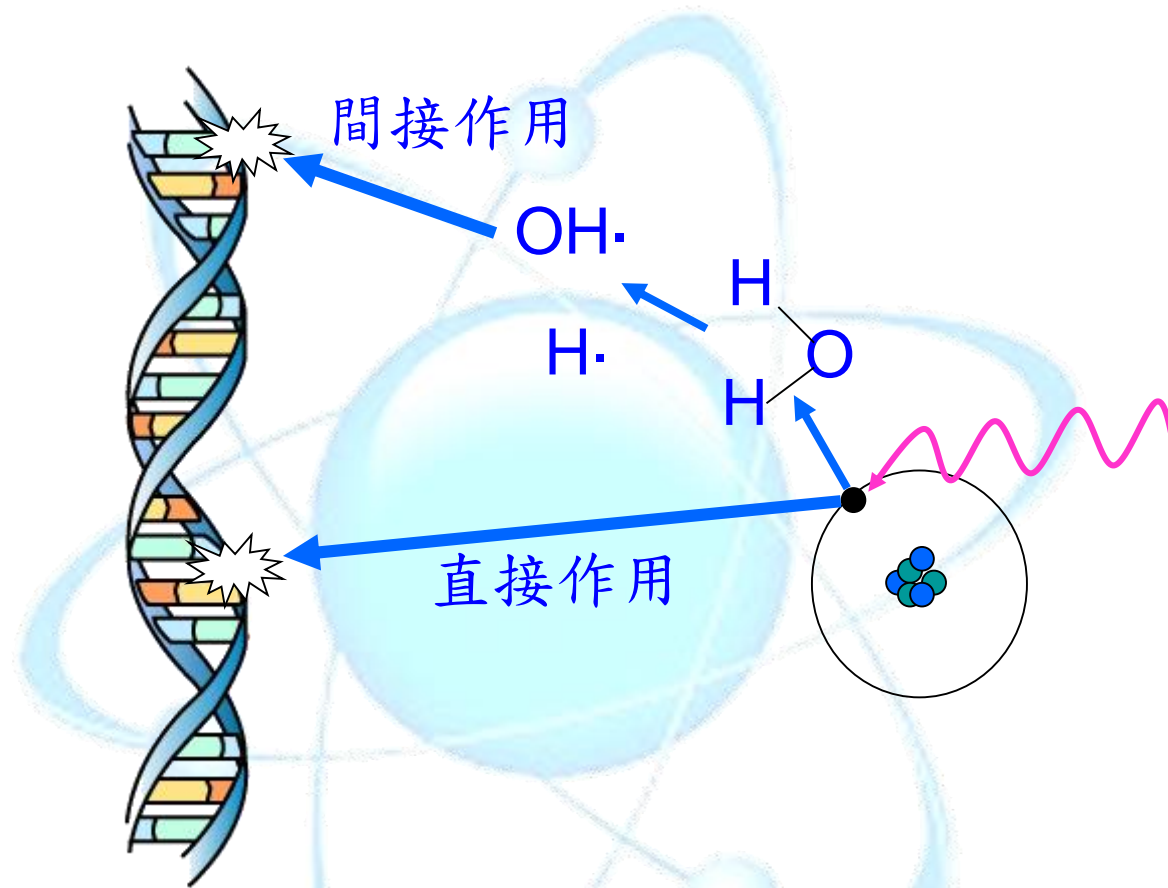
## ☆ 直接作用：

輻射直接作用於具有生物活性的大分子，使其發生游離、激發或化學鍵的斷裂而造成分子結構和性質的改變，從而引起功能和代謝的障礙。

## ☆ 間接作用：

指輻射作用於液體中的水分子，引起水分子的游離和激發，形成化學性質非常活潑的自由基，如  $\text{H}\cdot$ 、 $\text{OH}\cdot$  等，繼而作用於生物大分子引起損傷。

# 游離輻射對DNA的作用

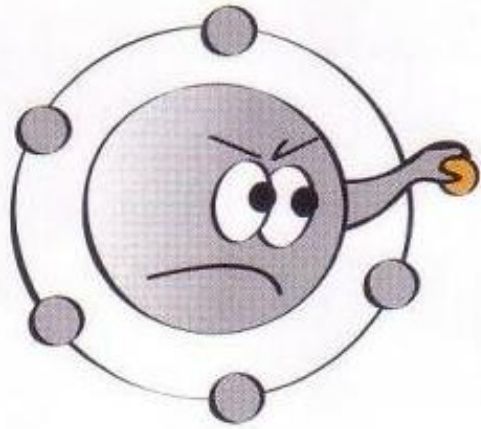


輻射導致的DNA損傷可通過直接作用或間接作用發生。

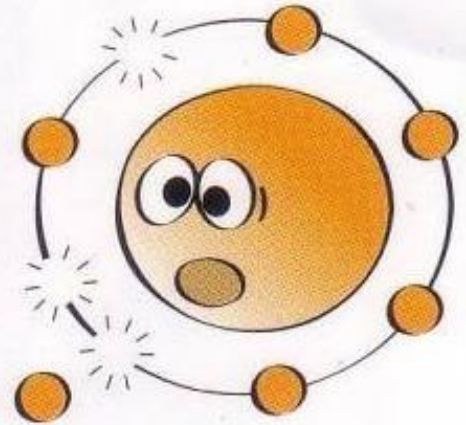
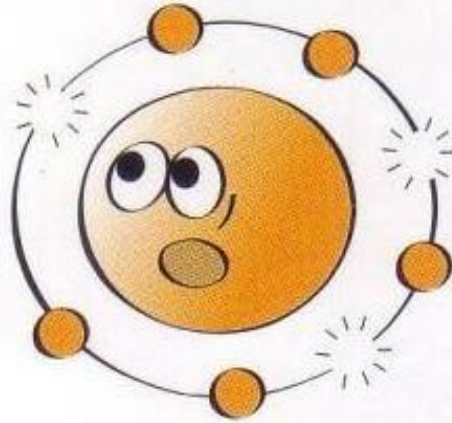
對於X射線和 $\gamma$ 射線：約35%的傷害是直接作用，而65%的是間接的。



# 自由基搶奪電子



自由基



電子被搶走

# 身體原子的組成

原子	氫	氧	碳	氮	鈣	磷	硫	微量元素
百分比	<b>60.0%</b>	<b>25.7%</b>	<b>10.7%</b>	<b>2.4%</b>	<b>0.2%</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.8%</b>

# 身體分子的組成

成份	水	蛋白質	碳水化合物	核酸	脂肪	其它
百分比	<b>80%</b>	<b>15%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	<b>2%</b>	<b>1%</b>

# 細胞的生命週期

一個細胞週期可分為G<sub>0</sub>、G<sub>1</sub>、S、G<sub>2</sub>、M等五期，或G<sub>1</sub>、S、G<sub>2</sub>、M等四期，其中G代表間隙（gap），S代表合成（Synthesis），M代表有絲分裂（mitosis）：

☆G<sub>0</sub>期：休止期

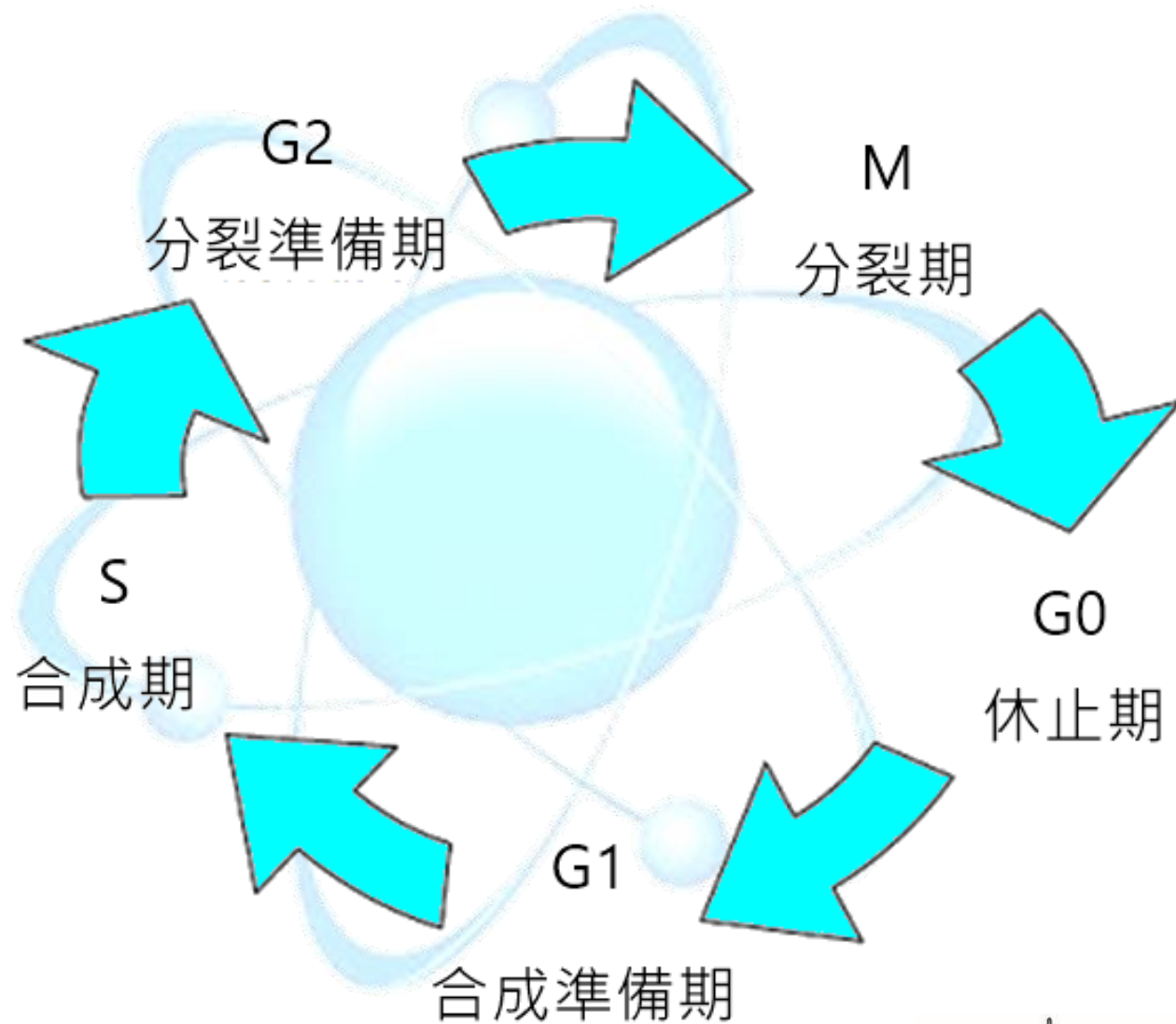
☆G<sub>1</sub>期：合成準備期，又稱為前合成期，為去氧核糖核酸DNA及一些酵素合成的準備期。

☆S期：合成期，為去氧核糖核酸DNA的合成期。

☆G<sub>2</sub>期：分裂準備期，又稱為後合成期，為分裂前的準備期。

☆M期：分裂期，可分為分裂前期、分裂中期、分裂後期、分裂末期。

# 細胞的生命週期



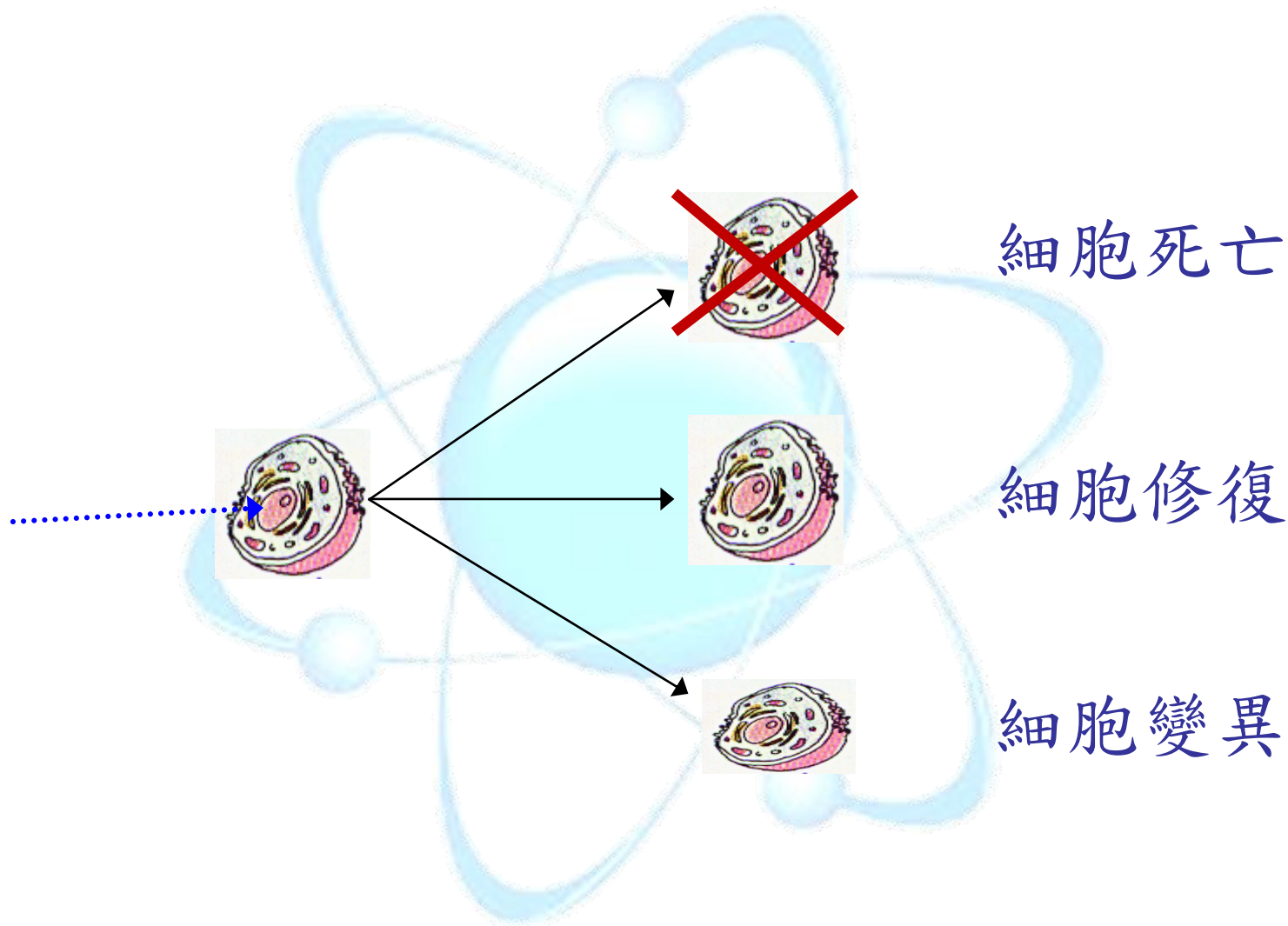


# 細胞對輻射的敏感度

- ☆ 不同期別的細胞對輻射的敏感度各有不同，在細胞的五個生命週期中，通常對輻射敏感的（radiosensitive）為M及G2期，G1期次之，而S期的末端為最輻射阻抗的（radioresistant）。
- ☆ G0、G1、S、G2、M等五期(phase)，這些期別亦可視為細胞的年齡期。其中G0及G1的年齡期最年輕。
- ☆ S期的細胞，DNA與染色體複製為原來的兩倍。
- ☆ G2期是指S期結束至M期開始之前的時期，當M期結束時，母細胞分裂為兩個子細胞，而每個子細胞的染色體數目與母細胞相同。



# 受損細胞的反應



# 活組織的輻射敏感度

- ☆ 構成器官組織的細胞可分兩種，一種是**功能細胞**，在承擔器官組織之功能，本身不會增殖，逐次被年青的功能細胞所取代。另一種則不斷重複細胞分裂，生產補給年青的功能細胞，叫做**幹細胞**。
- ☆ 組織器官中由於所含之細胞種類與比例不同，故各組織器官，對放射線之敏感度亦有差異，一般以：
  - ☆ 含分裂性細胞之比率較高者
  - ☆ 繼續進行細胞之分裂者
  - ☆ 含形態與功能尚未分化之細胞者其組織器官之放射性敏感度較高，較易受輻射傷害。

# 活組織的輻射敏感度

- ☆ 幹細胞是輻射敏感的，細胞愈成熟它對輻射的抗性愈高。
- ☆ 組織或器官愈年輕，它對輻射的敏感度愈高。
- ☆ 當代謝活力程度愈高，它對輻射也愈敏感。
- ☆ 當細胞的增殖速率或組織的生長速率增加，它對輻射敏感程度也會增加。

# 輻射傷害

軀體效應	急性效應	皮膚發生紅斑、骨髓、肺、消化道傷害、白血球減少、不孕、噁心、嘔吐、腹瀉	確定效應
	慢性效應	白內障、胎兒之影響	
		白血病、癌症	機率效應
遺傳效應	遺傳基因突變或染色體變異所發生的各種疾病		



# 輻射的健康效應

## ☆ 確定效應：

- ☆ 短時間內曝露於大的輻射劑量所致。
- ☆ 細胞受輻射照射後被殺死。
- ☆ 特性：
  - 超過低限劑量才會發生。
  - 誘發疾病的嚴重度隨曝露量的增加而增加。
- ☆ 急性效應：局部急性輻射症候群  
全身急性輻射症候群
- ☆ 延遲效應：白內障及不孕症等

# 輻射的健康效應

## ☆ 機率效應：

☆ 細胞受輻射照射後被改變

☆ 特性：

- 發病潛伏期長。

- 無低限劑量，誘發疾病的可能性隨曝露量的增加而增加。

☆ 誘發疾病的嚴重程度與曝露量的多寡無關。

☆ 生物效應：致癌、遺傳基因突變。

# 曝露型態及健康效應

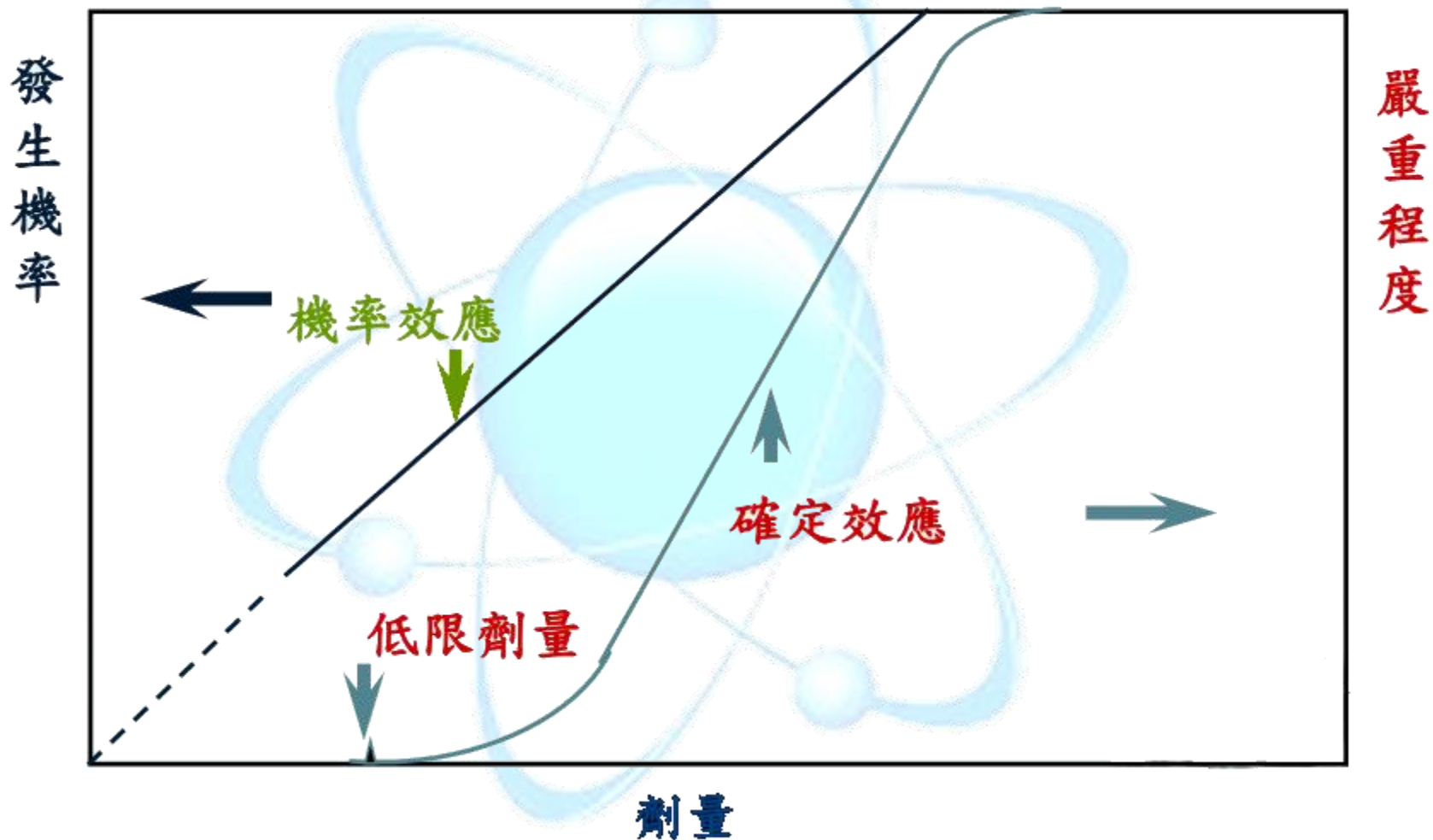
## ☆ 急性劑量：

- ☆ 短時間接受大輻射劑量
- ☆ 大劑量造成可觀察的健康效應：
  - 掉髮、疲勞
  - 早期：噁心及嘔吐
  - 燒傷及傷口癒合緩慢
- ☆ 例如醫療曝露及密封射源的意外曝露

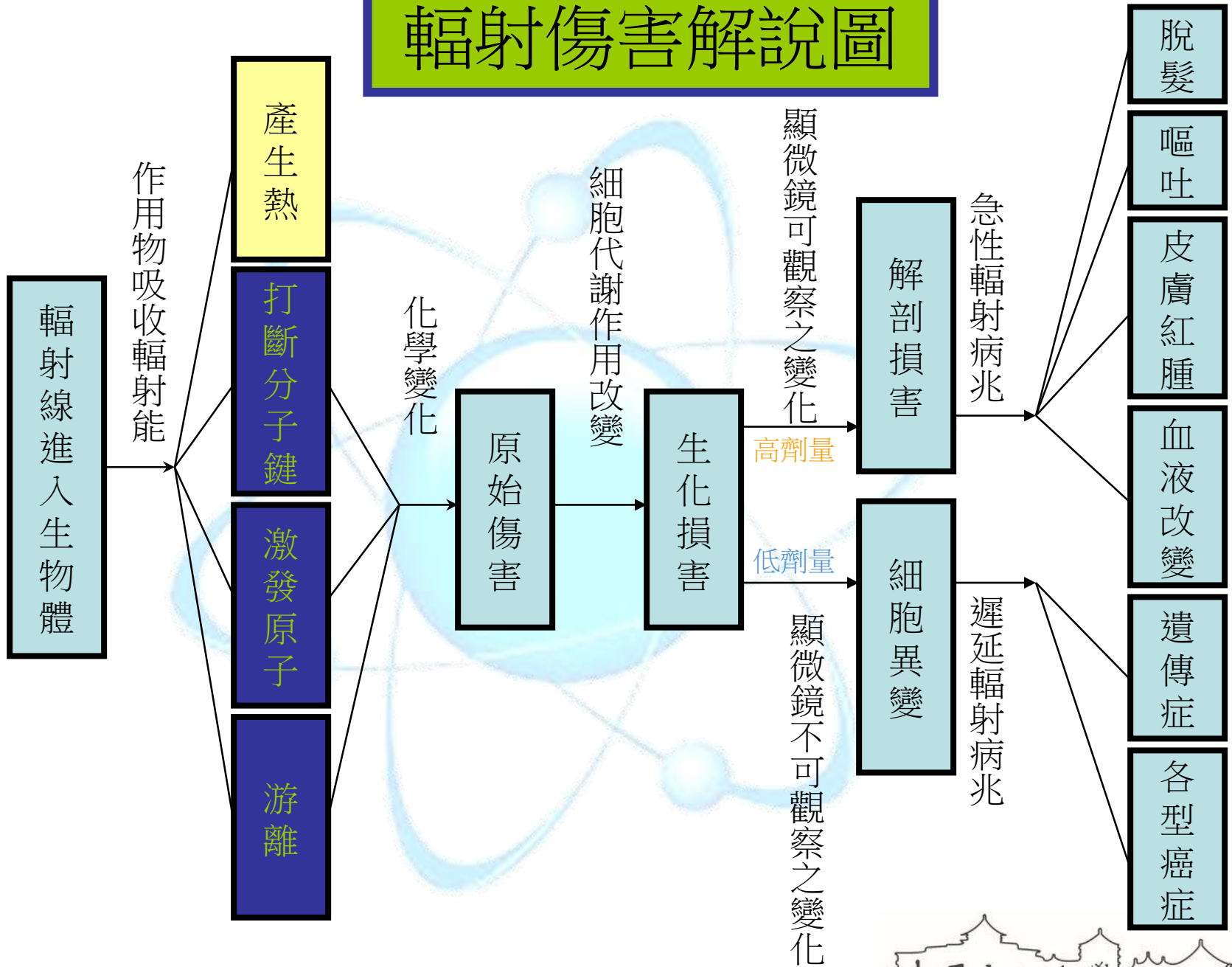
## ☆ 慢性劑量：

- ☆ 長時間接受輻射劑量
- ☆ 接受慢性劑量身體較容易修復傷害
- ☆ 輻射劑量不易造成可觀察的健康效應
- ☆ 例如背景輻射及體內累積

# 輻射的健康效應



# 輻射傷害解說圖





# 輻射急性效應

沒有顯著的效應



0~0.5 Sv

輕微的血液異常



0.5~1 Sv

5~50%的患者在3小時內嘔吐，有倦怠和失去胃口的現象，中度的血液變化；可在數週內復原。

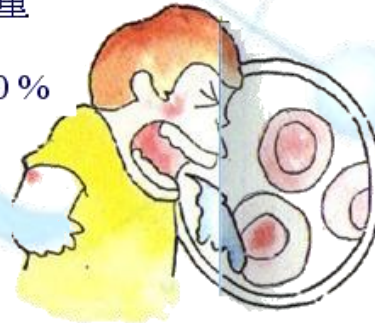


1~2 Sv



2~6 Sv

1小時內嘔吐，嚴重血液變化、出血、脫髮，約80%~100%的患者在2個月內死亡，生存者需要一段很長的時間復原。



6~10 Sv

大於3西弗以上，2小時以內嘔吐，嚴重血液變化及出血，兩週後脫髮，20~100%在1個月至1年之間復原。



# 輻射安全防護

# 輻射防護的目的

- ☆ 防止發生確定效應。
- ☆ 減少機率效應的發生。

# 輻射防護原則

- ☆ **正當化**：利用輻射所獲得的效益必須超過代價。
- ☆ **最適化**：考慮經濟與社會因素之後，一切輻射曝露必須保持合理抑低。
- ☆ **劑量限度**：輻射作業人員與一般民眾接受輻射劑量均不得超過法規的限制。

# 輻射劑量的單位－西弗·毫西弗

基於輻射防護的觀點，我們必須有判斷人類接受輻射劑量多寡的單位。目前國際間採用一位瑞典科學家的名字－「西弗」(Sv)作為劑量單位，而「西弗」的千分之一，即是「毫西弗」(mSv)。



# 輻射防護的量與單位

- ☆ 能量單位：
  - 電子伏特(eV)或其倍數(keV, MeV)，一個電子經電位差為一伏特的電場加速所獲得的能量， $1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}\text{J}$
- ☆ 活度(Activity)
  - ★ 放射性物質每秒衰變數( $\text{s}^{-1}$ )
  - ★ 單位：貝克(Bq)
  - ★ 描述放射性物質本身的強度
- ☆ 半衰期( $T_{1/2}$ )：
  - 活度衰變為原來一半所需的時間(s)
- ☆ 劑量(Dose)
  - ★ 單位重量物質吸收游離輻射之能量(J/kg)
  - ★ 單位：戈雷(吸收劑量)、西弗(等價、有效劑量)
  - ★ 描述游離輻射與物質(人體)能量交換的強度

# 各種劑量

吸收劑量：指單位質量物質吸收輻射之平均能量，其單位為戈雷，一千克質量物質吸收一焦耳能量為一戈雷。

器官劑量：指單位質量之組織或器官吸收輻射之平均能量，其單位為戈雷。

等價劑量：指器官劑量與對應輻射加權因數乘積之和。單位為 $(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$ ，亦為西弗(Sv)。

有效劑量：指人體中受曝露之各組織或器官之等價劑量與各該組織或器官之組織加權因數乘積之和，單位為西弗(Sv)。

# 輻射加權因數

輻射種類與能量區間 <sup>(2)</sup>	輻射加權因數 $W_R$
所有能量之光子	1
所有能量之電子及 $\mu$ 介子 <sup>(3)</sup>	1
中子 <sup>(4)</sup> 能量<10 千電子伏(keV)	5
10 千電子伏(keV)—100 千電子伏(keV)	10
>100 千電子伏(keV)—2 百萬電子伏(MeV)	20
>2 百萬電子伏(MeV)—20 百萬電子伏(MeV)	10
>20 百萬電子伏(MeV)	5
質子(回跳質子除外)能量>2 百萬電子伏(MeV)	5
$\alpha$ 粒子，分裂碎片，重核	20

# 個別組織器官的等價劑量

$$H_{T,26} = D_T \times Q$$

$$H_{T,60} = D_T \times W_R$$

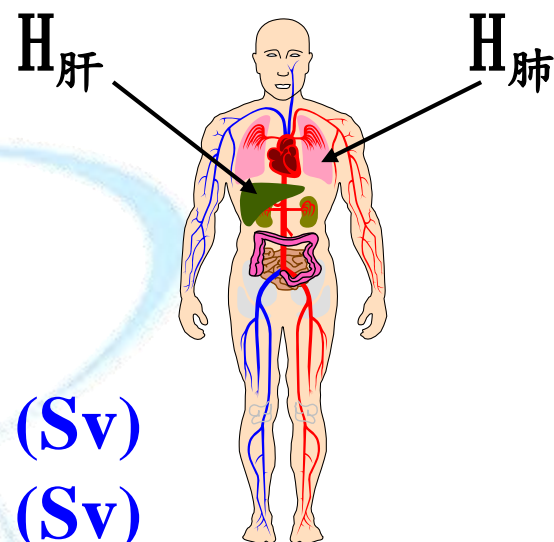
$H_{T,26}$  : 等效劑量 dose equivalent (Sv)

$H_{T,60}$  : 等價劑量 equivalent dose (Sv)

$D_T$  : 吸收劑量 organ absorbed dose (Gy)

$Q$  : 射質因數 (quality factor)

$W_R$  : 輻射加權因數 (radiation weighting factor)



# 組織加權因數

組織加權因數  $W_T$  指為輻射防護目的，用於以各組織或器官等價劑量  $H_T$  計算有效劑量之修正因數。此一因數係考慮不同組織或器官對輻射曝露造成機率效應之敏感度而訂定。

## Tissue ( $W_{T,26}$ )

Thyroid (0.03)

Lung (0.12)

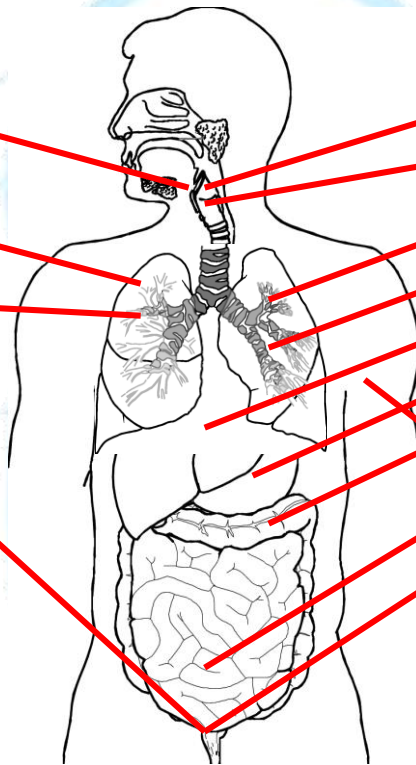
Breast (0.15)

Gonads (0.25)

Bone surface (0.03)

Red bone marrow (0.12)

Remainder (0.30)



## Tissue ( $W_{T,60}$ )

Thyroid (0.05)

Oesophagus (0.05)

Breast (0.05)

Lung (0.12)

Stomach (0.12)

Liver (0.05)

Colon (0.12)

Bladder (0.05)

Gonads (0.20)

Skin (0.01)

Bone surface (0.01)

Red bone marrow (0.12)

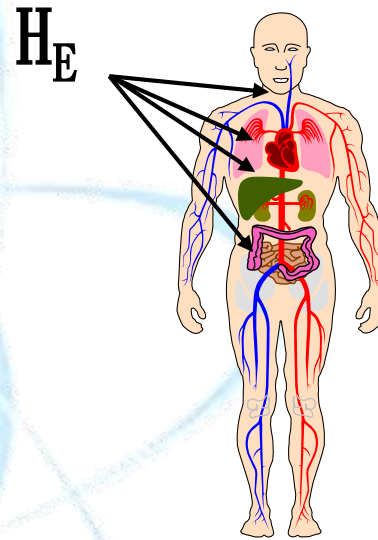
Remainder (0.05)



# 組織加權因數

組織或器官	組織加權因數 $W_T$	組織或器官	組織加權因數 $W_T$
性腺	0.20	肝	0.05
紅骨髓	0.12	食道	0.05
結腸	0.12	甲狀腺	0.05
肺	0.12	皮膚	0.01
胃	0.12	骨表面	0.01
膀胱	0.05	其餘組織或器官	0.05 <sup>(2)(3)</sup>
乳腺	0.05		

# 全身組織器官的有效劑量



$$H_E = \sum_T H_{T,26} \times W_{T,26}$$

$$E = \sum_T H_{T,60} \times W_{T,60}$$

$H_E$  : 有效等效劑量 effective dose equivalent (Sv)

$E$  : 有效劑量 effective dose (Sv)

$W_{T,26}$  : 組織加權因數 tissue weighting factor

$W_{T,60}$  : 組織加權因數 tissue weighting factor

# 放射性物質與可發生游離輻射設備



自發性持續不斷釋出輻射



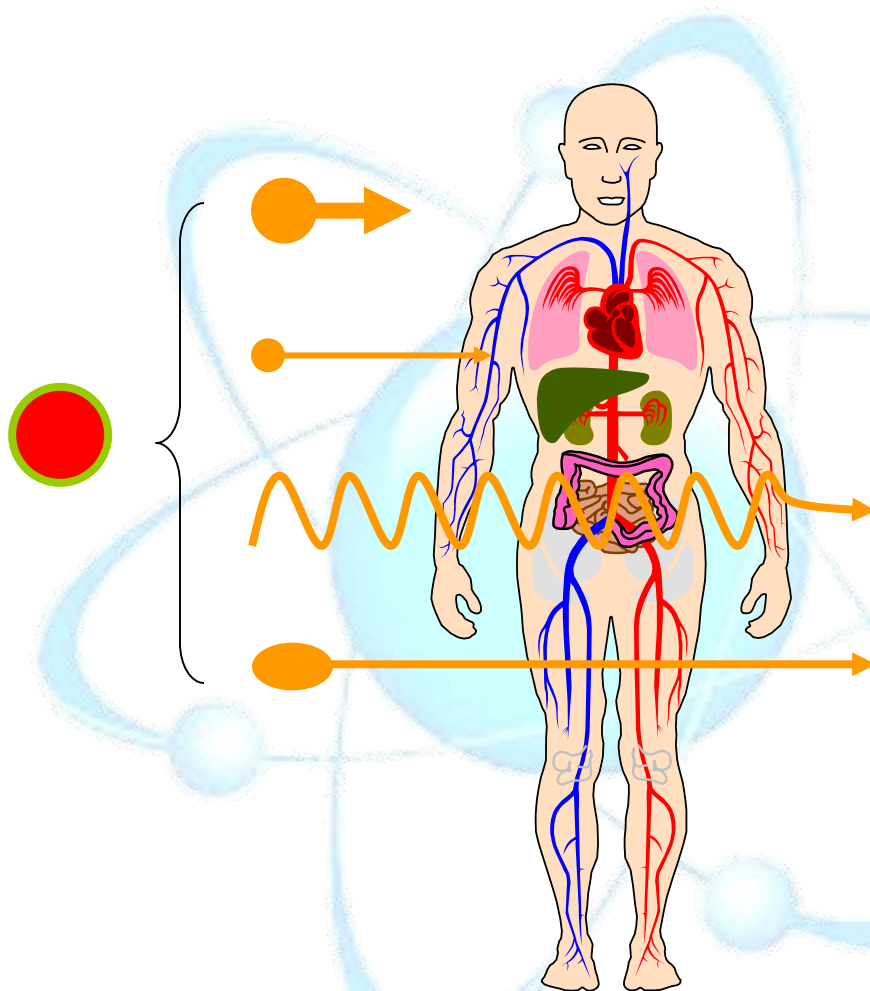
電源開才有輻射

# 放射性射源的分類

- ☆ 密封射源：固態射源，用較堅固的保護層密封，僅利用其外洩的輻射。
- ☆ 非密封射源：液態或是氣態射源常不加密封而直接使用為示蹤劑。  
(短半衰期、低活度)

# 體外曝露

密封射源或  
可發生游離輻射設備



$\alpha$  射線(可不考慮)

$\beta$  粒子

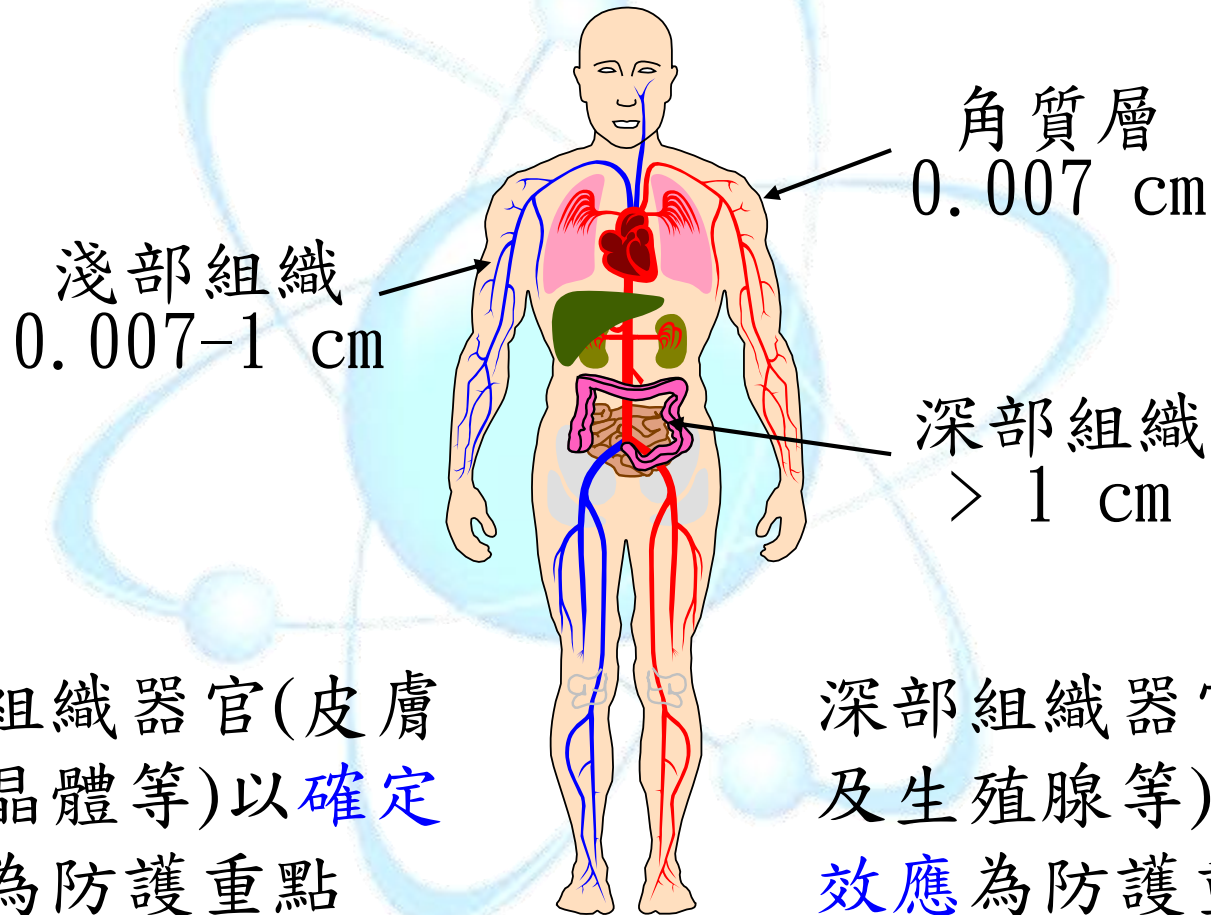
$\gamma$  射線

中子

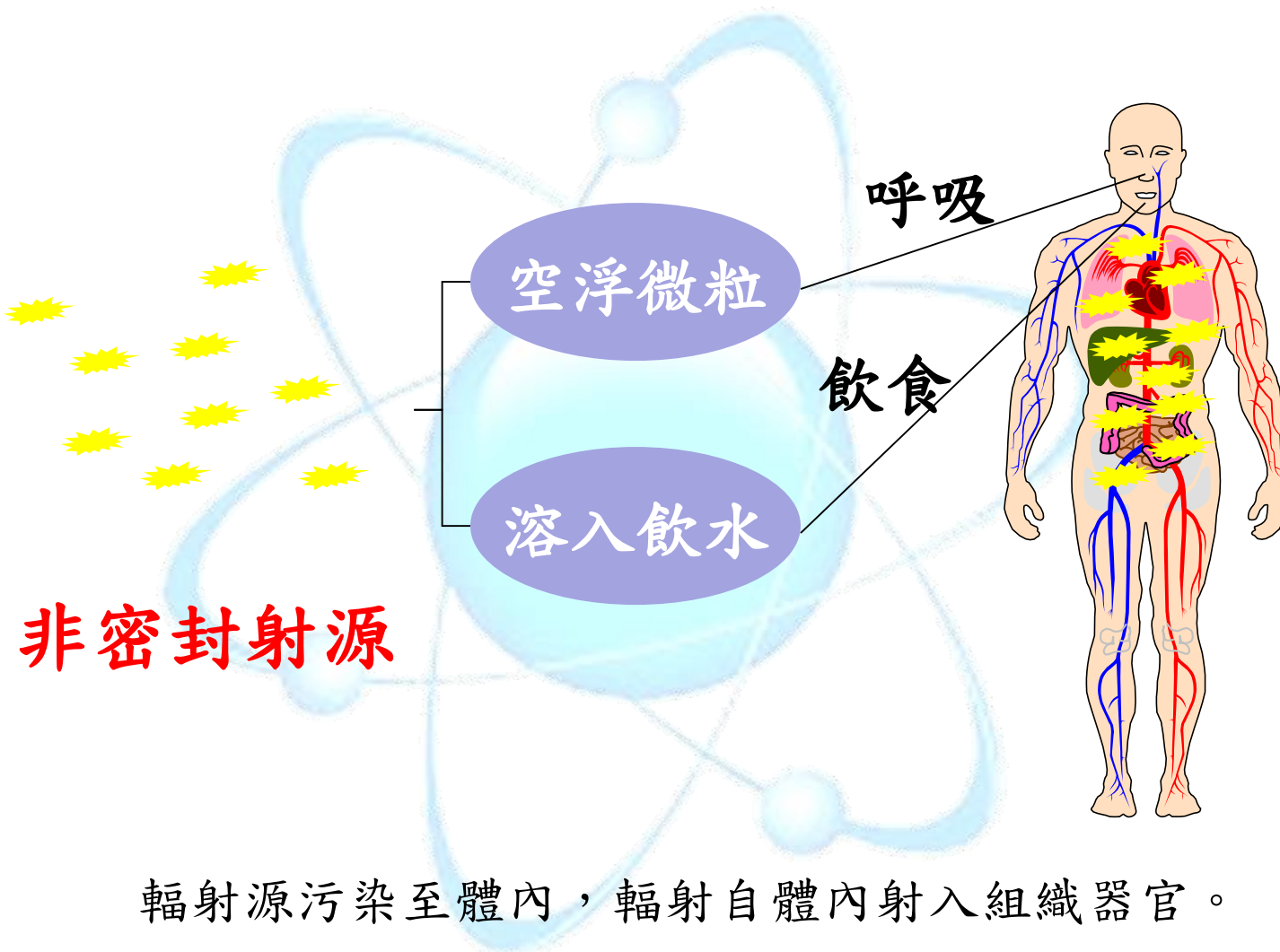
輻射源在身體外面，輻射自體外射入身體。



# 輻射的健康效應



# 體內曝露



# 體外防護原則 (TSD)

## ☆ 時間(Time)：

接受曝露的時間要儘可能縮短，所以事先要瞭解狀況並做好準備，熟練操作程序。

## ☆ 屏蔽(Shield)：

利用鉛板、鋼板或水泥牆( $\gamma$ 射線)及其它適當的材料( $\beta$ 屏蔽可用鋁或壓克力)可擋住輻射或降低輻射強度，保護人員的安全。

## ☆ 距離(Distance)：

要遠離射源，輻射的強度與距離的平方成反比關係，距離加倍，輻射強度減弱四倍。

# 體外防護原則-時間(Time)

- ☆ 曝露時間越長，接受到的輻射劑量越高。  
→ 縮短作業時間
- ☆ 輻射強度隨時間增長而遞減。  
→ 擱置一段時間後再處理(如污染衣物)



# $\alpha$ 粒子的屏蔽考量

- ☆ 穿透力極弱（射程很短），只會在人體 表皮之角質層（死組織層）造成劑量，故不構成健康威脅。
- ☆ 可不必考慮屏蔽。
- ☆ 應小心防護  $\alpha$  粒子進入體內（ $Q=20$ ）。



# $\beta$ 粒子的屏蔽考量

- ☆ 穿透力雖較  $\alpha$  強，但射程仍屬短，只會在人體淺部組織（皮膚、水晶體）造成劑量，非機率效應比機率效應重要。
- ☆  $\beta$  粒子之屏蔽物質及厚度，決定於：
  - ★ 屏蔽物質的原子序必須很小，以減少制動輻射的產生。
  - ★ 屏蔽物質的厚度必須大於  $\beta$  粒子的最大射程，以完全阻擋  $\beta$  粒子。

# 高能量、高通量 $\beta$ 粒子的屏蔽

$\beta$   
粒子



低  
原子  
序

高  
原子  
序



$$f = \frac{Z}{3} \times E_0 \times 10^{-3}$$

$f = \beta$  粒子轉換成制動輻射的分數

$E_0 = \beta$  粒子之最大能量 (MeV)

$Z =$  物質之原子序

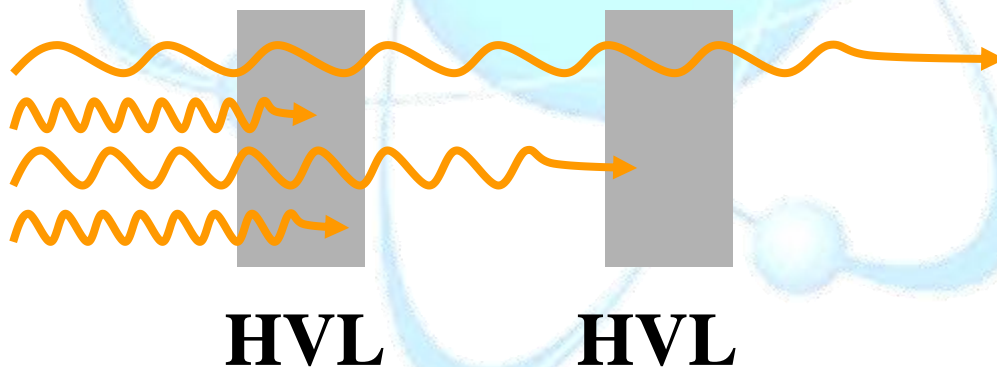
- ☆ 低原子序物質的厚度必須大於  $\beta$  粒子的射程，以完全吸收  $\beta$  粒子，並減少制動輻射的產生量。
- ☆ 高原子序物質可有效衰減所產生之制動輻射的量。

# 光子屏蔽考量

- ☆ 光子（ $\gamma$  或 X 射線）穿透力很強，找不到能完全將其阻擋的材料。
- ☆ 衰減光子，以密度較高的物質為佳（密度較高，每單位體積內的電子數較多）
  - ★ 例：鉛的密度比水大，故光子能夠穿透鉛的數目遠比水少，因此鉛的屏蔽效果比水好。
- ☆ 屏蔽物質的原子序愈大、密度愈大，屏蔽效果愈好（鉛、鐵、混凝土等是良好的屏蔽材料）。

# 光子屏蔽考量

- ☆ 半值層 (HVL) — 衰減輻射強度至原來一半所需的屏蔽厚度。
- ☆ 針對鈷六十而言， $HVL(\text{鉛}) = 1.2 \text{ cm}$ ， $HVL(\text{混凝土}) = 6.2 \text{ cm}$ 。



經過 $N$ 個半值層，輻射強度衰減至原來的 $(0.5)^N$

# 中子屏蔽考量

根據中子與物質的作用特性，設計屏蔽時通常需要三層不同材質的屏蔽：

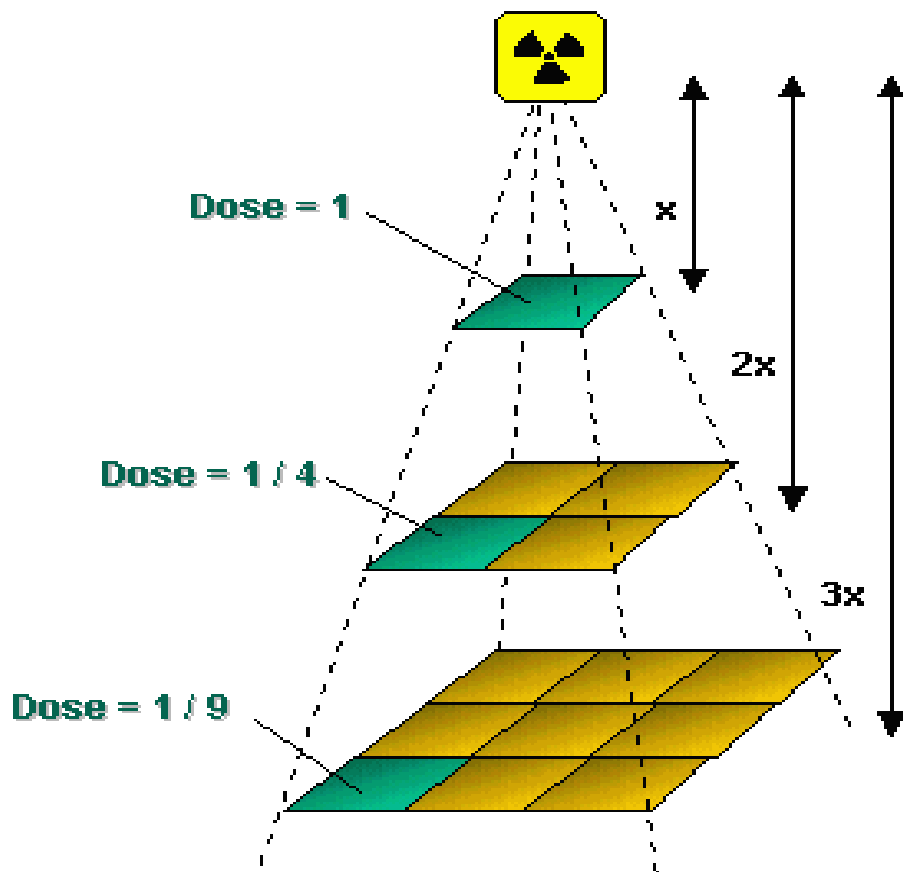
- ☆第一層為低原子序的物質，目的為減速快中子，水、石蠟、混凝土均常採用。
- ☆第二層為具有高中子補獲的截面積者，氫、鎳、硼均常被採用，但氫、鎳捕獲中子時會釋出高能 $\gamma$ 。
- ☆第三層通常為高原子序物質，目的為屏蔽中子捕獲時釋出的高能 $\gamma$ 。



# 體外防護原則- 距離(Distance)

輻射的強度與距離的平方成反比關係。

→ 離射源越遠越好



# 體內防護四原則

- ☆ 儘量避免攝入輻射物質。
- ☆ 減少吸收：如有攝入放射性物質之可能時，應大量服用流質液體，藉以充份稀釋，減少吸收。
- ☆ 增加排泄：使用泄藥、催吐劑或利尿劑等。
- ☆ 防止污染發生。

# 簡易的輻射防護方法

## 體外防護

(1) 遠離輻射源(輻射劑量與距離平方成反比)



(2) 減少輻射照射時間



(3) 加屏蔽阻擋輻射

## 體內防護 設法防止放射性物質進入人體



穿著防護衣  
避免接觸污染



戴呼吸防護面具



工作後、吃東西  
前要洗手



戴防護手套  
避免接觸污染



工作區禁止吸煙及飲食

# 常用來偵測輻射的儀器

熱發光劑量計



劑量筆



碘化鈉偵檢器  
或蓋格管



手足偵檢器



輻射偵測的分類

輻射偵測的結果，常因使用之偵測儀器、幾何形狀或條件不同而偵測出不同結果。輻射偵測儀器可略分為偵測污染的計數器與測取劑量率的偵檢儀。



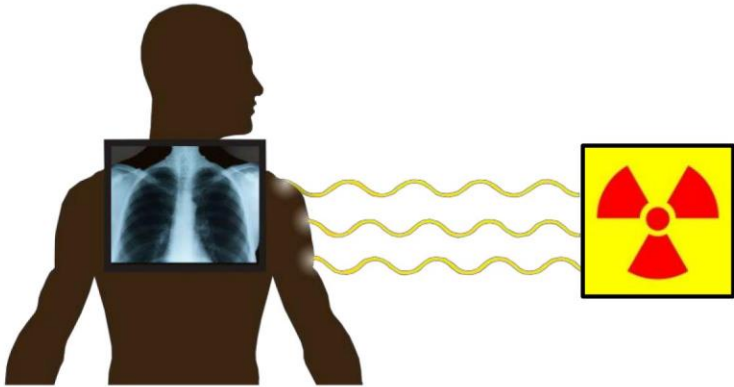
# 劑量佩章與偵檢儀





# 曝露與污染

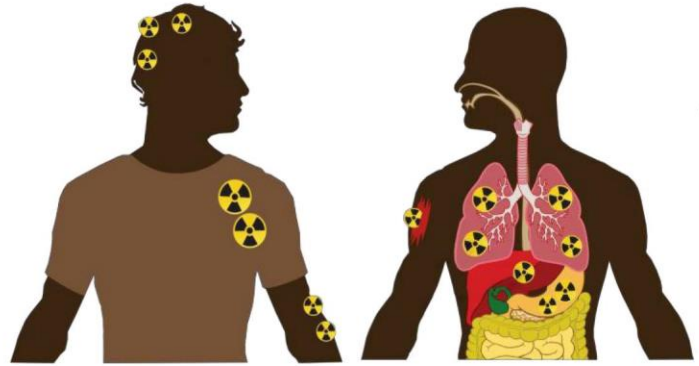
## 輻射曝露



### 有曝露不一定有污染

- 當一個人接受游離輻射照射，即稱為受到「曝露」。
- 受體外輻射曝露的病人身上並不會殘留放射性物質。

## 輻射污染

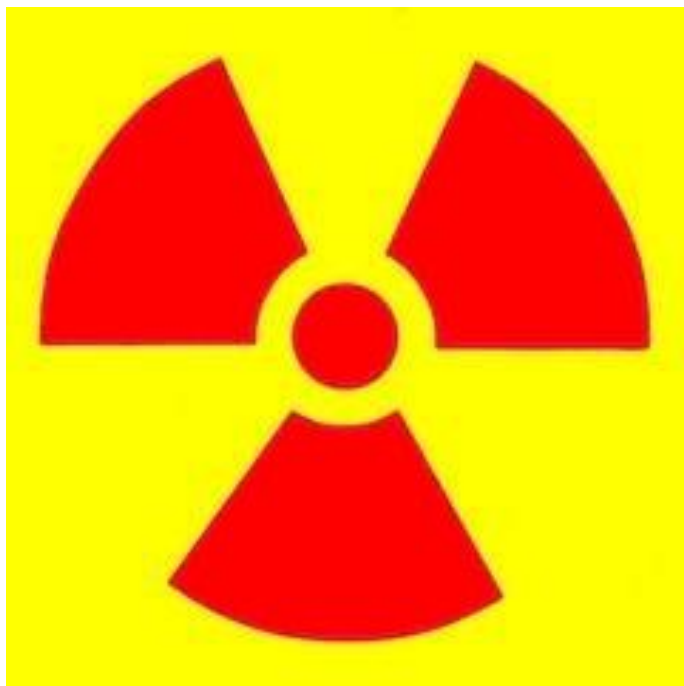


### 有污染一定伴隨曝露

- 當一個人被偵測出體表/體內帶有放射性物質即被認為受到輻射「污染」。

# 結語

- ☆ 多一分了解，多一分保護。
- ☆ 輻射原本就存在於我們的生活環境當中。
- ☆ 掌握輻射特性
  - ★ 可量測：挑選正確儀器。
  - ★ 會衰減：隨時間、距離衰減。
  - ★ 不會增生不會傳染：不像COVID-19或SARS。
- ☆ 確實自我防護
  - ★ 識別輻射源。
  - ★ 體外防護(TDS原則)&體內防護。
  - ★ 穿戴防護裝備。



### 注意事項 (本標籤請張貼於設備明顯位置)

1. 本設備含有輻射源，其出口、轉讓、遷移、改裝、停用及報廢等輻射作業，均應取得原子能委員會許可，始得為之。
2. 本設備應由取得合格資格之人員進行操作。



違反上述情事者，將依『游離輻射防護法』予以處分。





# 輻射防護相關法令

- ☆母法：游離輻射防護法
- ☆執行：游離輻射防護法施行細則
- ☆人員劑量與限度：游離輻射防護安全標準
- ☆作業管理：放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法
- ☆人員資格：放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法
- ☆管或不管：輻射源豁免管制標準
- ☆其他



# 游離輻射防護法

☆第1條 為防制游離輻射之危害，維護人民健康及安全，特依輻射作業必須合理抑低其輻射劑量之精神制定本法…。

☆第5條 為限制輻射源或輻射作業之輻射曝露，主管機關應參考國際放射防護委員會最新標準訂定游離輻射防護安全標準…。

# 游離輻射防護安全標準

- ☆ 輻射作業應防止確定效應之發生及抑低機率效應之發生率，且符合下列規定：
- 一. 利益須超過其代價。(正當化)
  - 二. 考慮經濟及社會因素後，一切曝露應合理抑低。(最適化)
  - 三. 個人劑量不得超過本標準之規定值。(限制化)

# 合理抑低

合理抑低指盡一切合理之努力，以維持輻射曝露在實際上遠低於本標準之劑量限度。

。其原則為：

- 一. 須符合原許可之活動。
- 二. 須考慮技術現狀、改善公共衛生及安全之經濟效益以及社會與社會經濟因素。
- 三. 須為公共之利益而利用輻射。

(游離輻射防護安全標準第二條第一項)

# 輻射源豁免管制標準

第二條 放射性物質或可發生游離輻射設備符合下列情況之一者，免依游離輻射防護法管制：

- 一、放射性物質單位質量之活度濃度不超過附表第2欄所列者。
- 二、放射性物質之活度不超過附表第3欄所列者。
- 三、軍事用途之瞄準具、提把、瞄準標杆所含氚不超過四千億( $4E+11$ )貝克者。
- 四、下列可發生游離輻射設備，在正常操作條件下，距其任何可接近之表面十公分處之劑量率每小時不超過一微西弗者：
  - (一)公稱電壓不超過三萬伏特之可發生游離輻射設備。
  - (二)電子顯微鏡。
  - (三)陰極射線管。
  - (四)其他型式經主管機關核定公告者。

# 輻射源豁免管制標準

核種名稱、 符號、同位素	豁免管制活度濃度 (貝克/克)	豁免管制活度 (貝克)
H-3	$10^6$	$10^9$
C-14	$10^4$	$10^7$
P-32	$10^3$	$10^5$
P-33	$10^5$	$10^8$
S-35	$10^5$	$10^8$
K-40	$10^2$	$10^6$
Co-60	$10^1$	$10^5$



# 輻射作業

指任何引入新輻射源或曝露途徑、或擴大受照人員範圍、或改變現有輻射源之曝露途徑，從而使人們受到之曝露，或受到曝露之人數增加而獲得淨利益之人類活動。包括對輻射源進行**持有、製造、生產、安裝、改裝、使用、運轉、維修、拆除、檢查、處理、輸入、輸出、銷售、運送、貯存、轉讓、租借、過境、轉口、廢棄或處置**之作業及其他經主管機關指定或公告者。

(游離輻射防護法第二條第一項)

# 游離輻射防護法第29條

☆除本法另有規定者外，放射性物質、可發生游離輻射設備或輻射作業，應依主管機關之指定申請許可或登記備查。

☆…

☆第二項及第三項申請許可、登記備查之資格、條件、前項設施之種類與運轉人員資格、證書或執照之核發、有效期限、換發、補發、廢止及其他應遵行事項之辦法，由主管機關定之。

# 放射性物質與可發生游離輻射設備 及輻射作業管理辦法

使用下列放射性物質者，應向主管機關申請登記備查：

1. 附表一所列第四類及第五類密封放射性物質者。
2. 放射性物質在儀器或製品內形成一組件，其活度為豁免管制量一千倍以下，在正常使用狀況下，其可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗以下者。
3. 前二款以外之放射性物質活度為豁免管制量一百倍以下者。

使用前項規定以外之放射性物質者，應向主管機關申請許可證。

# 放射性物質與可發生游離輻射設備 及輻射作業管理辦法

附表一 密封放射性物質分類活度一覽表

核種 \ 活度	第一類 (TBq)	第二類 (TBq)	第三類 (TBq)	第四類 (TBq)	第五類 (TBq)
Co-60	$A \geq 30$	$30 > A \geq 0.3$	$0.3 > A \geq 0.03$	$0.03 > A \geq 3 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-4} > A \geq 10^{-7}$
Ni-63	$A \geq 6 \times 10^4$	$6 \times 10^4 > A \geq 600$	$600 > A \geq 60$	$60 > A \geq 0.6$	$0.6 > A \geq 10^{-4}$
Kr-85	$A \geq 3 \times 10^4$	$3 \times 10^4 > A \geq 300$	$300 > A \geq 30$	$30 > A \geq 0.3$	$0.3 > A \geq 10^{-8}$
Cs-137	$A \geq 100$	$100 > A \geq 1$	$1 > A \geq 0.1$	$0.1 > A \geq 10^{-3}$	$10^{-3} > A \geq 10^{-8}$
Am-241	$A \geq 60$	$60 > A \geq 0.6$	$0.6 > A \geq 0.06$	$0.06 > A \geq 6 \times 10^{-4}$	$6 \times 10^{-4} > A \geq 10^{-8}$



# 放射性物質與可發生游離輻射設備 及輻射作業管理辦法

使用下列可發生游離輻射設備者，申請人應向主管機關申請登記備查：

1. 公稱電壓為十五萬伏(150kV)或粒子能量為十五萬電子伏(150keV)以下者。
2. 櫃型或行李檢查X光機、離子佈植機、電子束焊機或靜電消除器在正常使用狀況下，其可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗以下者。

使用前項以外或前項第一款非屬醫療用途，而對人體直接照射之可發生游離輻射設備者，應向主管機關申請許可證。



# 高強度輻射設施種類 及運轉人員管理辦法

第2條 高強度輻射設施(以下簡稱設施)之種類如下：

- 一、使用可發生游離輻射設備加速電壓值大於三千萬伏(30 MV)之設施。
- 二、使用可發生游離輻射設備粒子能量大於三千萬電子伏(30 MeV)之設施。
- 三、使用密封放射性物質活度大於1000兆貝克(1000 TBq)之設施。

# 輻射源分類

輻射強弱

X光設備類

放射性物質類

公稱電壓  
(keV)

劑量率  
( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )

活度  
(Bq)

高強度

30MeV

$10^{15}\text{Bq}$

許可類

150keV

表面5公分  
 $5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

密封：豁免1000倍  
非密封：豁免100倍

登記類

30keV

表面10公分  
 $1\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

豁免管制標準

豁免管制

# 游離輻射防護法第31條

- ☆ 操作放射性物質或可發生游離輻射設備之人員，應受主管機關指定之訓練，並領有**輻射安全證書**或**執照**。但領有輻射相關執業執照經主管機關認可者或**基於教學需要**在合格人員指導下從事**操作訓練**者，不在此限。
- ☆ 前項證書或執照，於操作**一定活度**以下之放射性物質或**一定能量**以下之可發生游離輻射設備者，得以**訓練**代之…

# 游離輻射防護法第14條

- ☆ 雇主對在職之輻射工作人員應定期實施從事輻射作業之防護及預防輻射意外事故所必要之教育訓練，並保存紀錄。
- ☆ 輻射工作人員對於前項教育訓練，有接受之義務。

# 游離輻射防護法施行細則第5條

☆ 雇主依本法第十四條第四項規定對在職之輻射工作人員**定期**實施之**教育訓練**，應參酌下列科目規劃，且每人每年受訓時數須為**三小時**以上，其中二分之一訓練時數得以播放錄影帶、光碟或視訊等方式代之，保存紀錄…



# 游離輻射防護法第16條

- ☆ 雇主僱用輻射工作人員時，應要求其實施體格檢查；對在職之輻射工作人員應實施定期健康檢查，並依檢查結果為適當之處理。
- ☆ 輻射工作人員因一次意外曝露或緊急曝露所接受之劑量超過五十毫西弗以上時，雇主應即予以包括特別健康檢查、劑量評估、放射性污染清除、必要治療及其他適當措施之特別醫務監護。

# 游離輻射防護法第46條

- ☆ 輻射工作人員有下列情形之一者，處新臺幣二萬元以下罰鍰：
- 一、違反第十四條第五項規定，拒不接受教育訓練。
  - 二、違反第十六條第七項規定，拒不接受檢查或特別醫務監護

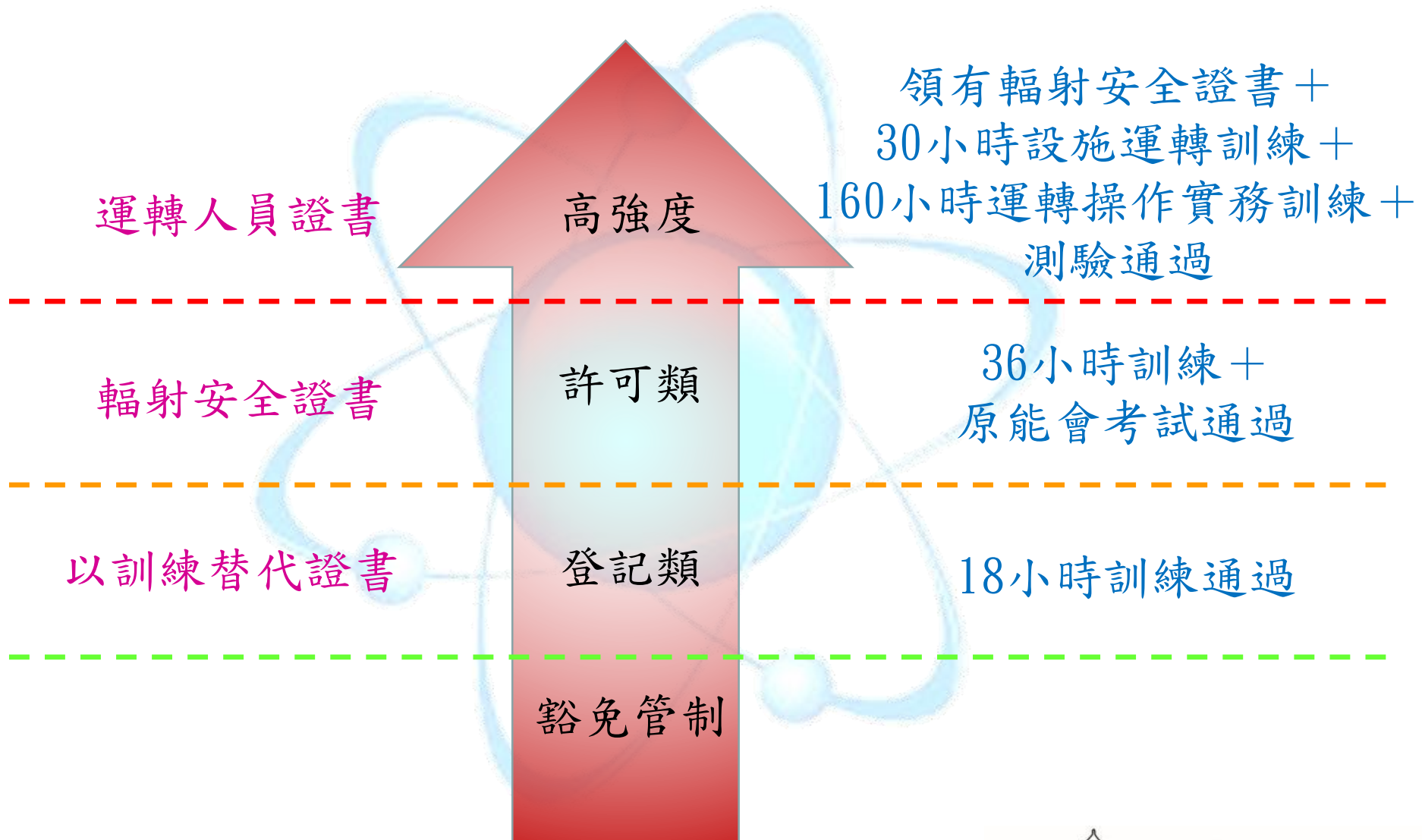
# 放射性物質或可發生游離輻射設備 操作人員管理辦法

- ☆ 本法第三十一條第一項但書規定之基於教學需要在合格人員指導下從事操作訓練者，係指下列人員：
- 一、中等學校、大專校院及學術研究機構之教員、研究人員及學生。
  - 二、主管機關認可之輻射防護訓練業務機構之學員。
  - 三、接受臨床訓練之醫師、牙醫師或於醫院實習之醫學校院學生、畢業生。
  - 四、接受職前訓練之人員。
- 前項第四款之人員在合格人員指導下從事操作訓練，最長以半年為限。

# 放射性物質或可發生游離輻射設備 操作人員管理辦法

- ☆ 第一項人員於操作放射性物質或可發生游離輻射設備前，應接受合格人員規劃之操作程序及輻射防護講習。但操作主管機關核發許可證之移動式或無固定式屏蔽之放射性物質或可發生游離輻射設備時，仍應在合格人員直接監督下為之。
- ☆ 前項操作程序及輻射防護講習，時數不得少於三小時。除中等學校及大專校院依教育主管機關核定課程所實施之操作訓練外，學術研究機構、醫院及設施應將包括講習課程、指導人員、講習地點及參訓人員姓名等資料留存備查，並保存三年。

# 操作人員資格對應





# 人員資格對應

	操作人員	操作訓練
高強度	運轉人員證書	輻射安全證書
許可證	輻射安全證書	3小時教育訓練+ 合格人員直接監督
登記備查	18小時訓練證明	3小時教育訓練+ 合格人員指導

# 游離輻射防護安全標準第七條

**輻射工作人員**職業曝露之劑量限度，依下列規定：

- 一、每**連續五年**週期之**有效劑量**不得超過**一百毫西弗**，且任何**單一年內**之有效劑量不得超過**五十毫西弗**。
- 二、眼球水晶體之**等價劑量**於一年內不得超過**一百五十毫西弗**。
- 三、皮膚或四肢之**等價劑量**於一年內不得超過**五百毫西弗**。

前項第一款五年週期，自民國九十二年一月一日起算。

# 游離輻射防護安全標準第十條

**十六歲以上未滿十八歲**者接受輻射作業教學或工作訓練，其個人年劑量限度依下列規定：

- 一、有效劑量不得超過六毫西弗。
- 二、眼球水晶體之等價劑量不得超過五十毫西弗。
- 三、皮膚或四肢之等價劑量不得超過一百五十毫西弗。

# 游離輻射防護安全標準第十一條

雇主於接獲**女性**輻射工作人員告知**懷孕**後，應即檢討其工作條件，使其胚胎或胎兒接受與**一般人相同**之輻射防護。

前項女性輻射工作人員，其賸餘妊娠期間下腹部表面之等價劑量，不得超過二毫西弗，且攝入體內放射性核種造成之約定有效劑量不得超過一毫西弗。

# 游離輻射防護安全標準第十二條

輻射作業造成**一般人**之年劑量限度，依下列規定：

- 一、有效劑量不得超過**一毫西弗**。
- 二、眼球水晶體之等價劑量不得超過十五毫西弗。
- 三、皮膚之等價劑量不得超過五十毫西弗。



# 輻射作業

輻射工作人員  
(劑量可能超過  
一般民眾限值)

無操作輻射源，但進入管制區而接受曝露，並劑量可能超過一般人(如稽查人員、維修人員)

操作人員  
(實際操作輻射源)

操作輻射源而接受曝露，但劑量不會超過一般人

因操作輻射源而接受曝露，並劑量可能超過一般人

# 人員管理

## ★ 輻射工作人員管理：

- ★ 定期實施輻射作業防護及預防意外事故之教育訓練(每年3小時)

- ★ 實施個別劑量監測

- ★ 每年定期健康檢查

## ★ 一般操作人員或作業人員：

- ★ 可比照辦理或視單位工作性質

- ★ 提供適合之防護及監測