

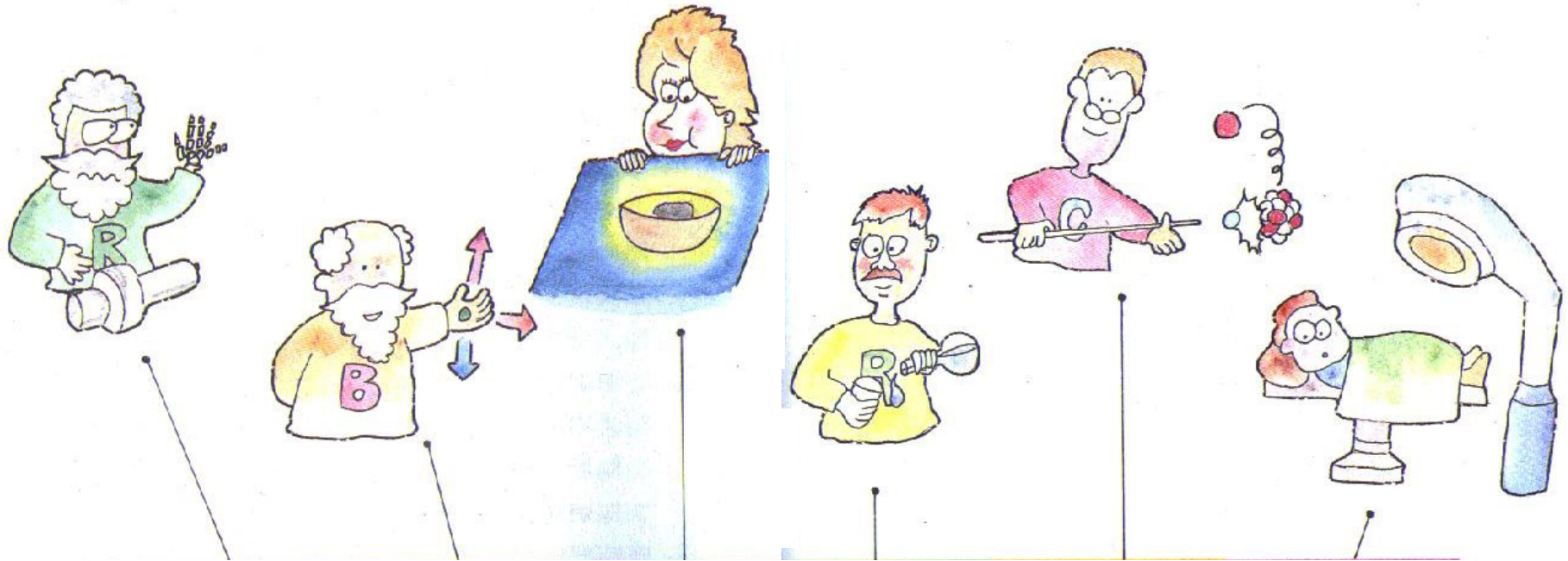
# 認識輻射 及 輻射安全

# 綱 要

1. 認識輻射

2. 輻射的生物效應

# 輻射(放射線)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阿伐、貝他、加馬射線

1898

居里夫人自天然鈾礦尋得鈾與鐳二種放射性元素

1899

拉塞福發現放射性元素“鈾”

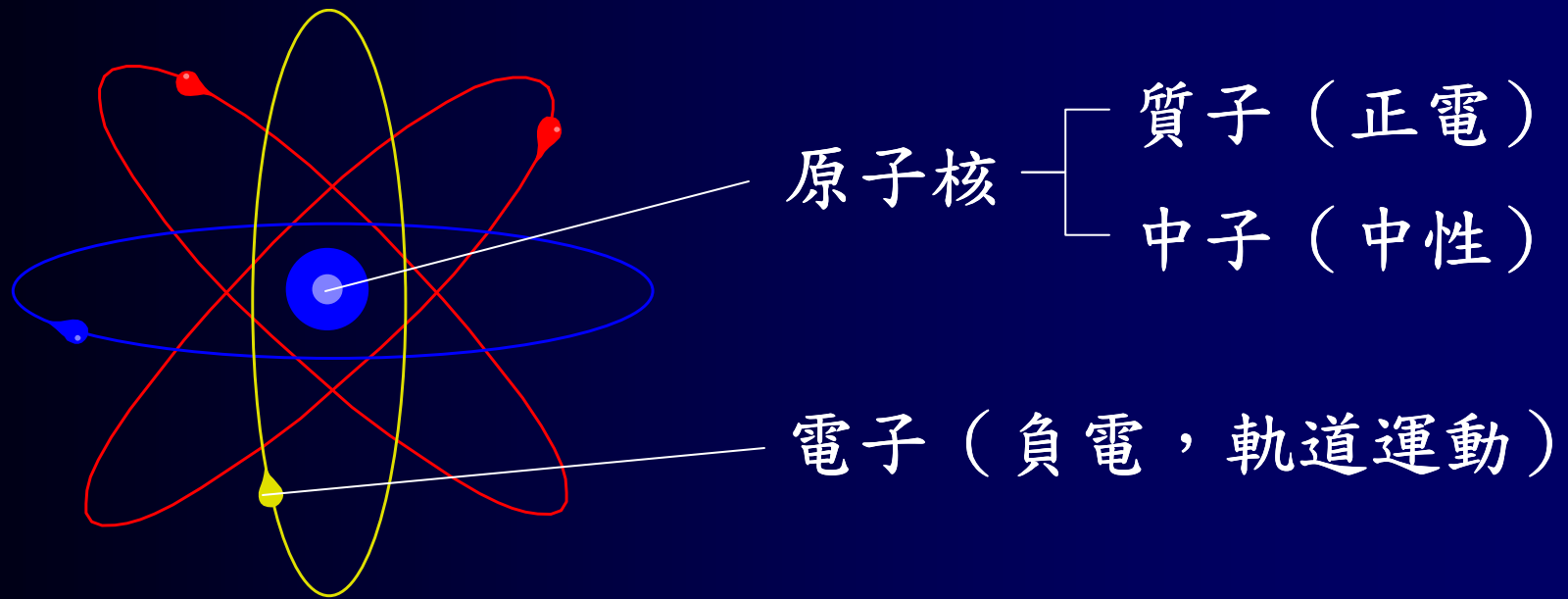
1932

查兌克發現中子

1953

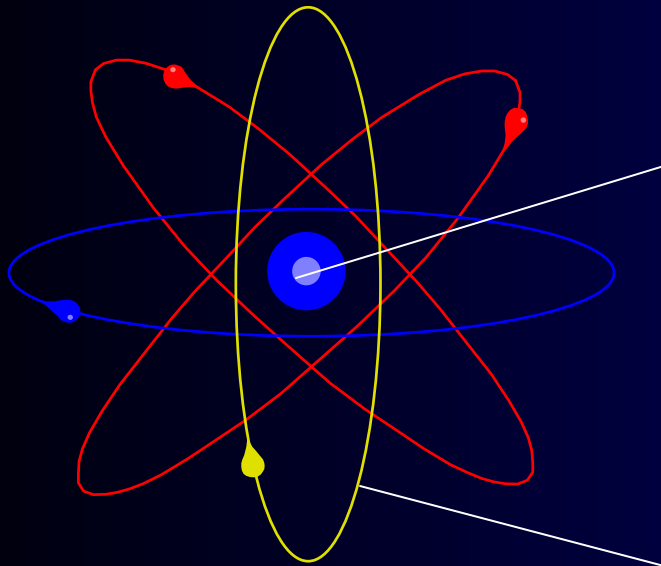
利用鈷六十治療癌症首先被引用

# 原子模型



$$Z = \text{原子序} = \text{質子個數} = \text{電子個數}$$
$$A = \text{質量數} = \text{質子個數} + \text{中子個數}$$

# 原子輻射與核輻射



核輻射

阿伐粒子(二質子與二中子)  
貝他粒子(正電子或負電子)  
加馬射線(電磁波)  
中子

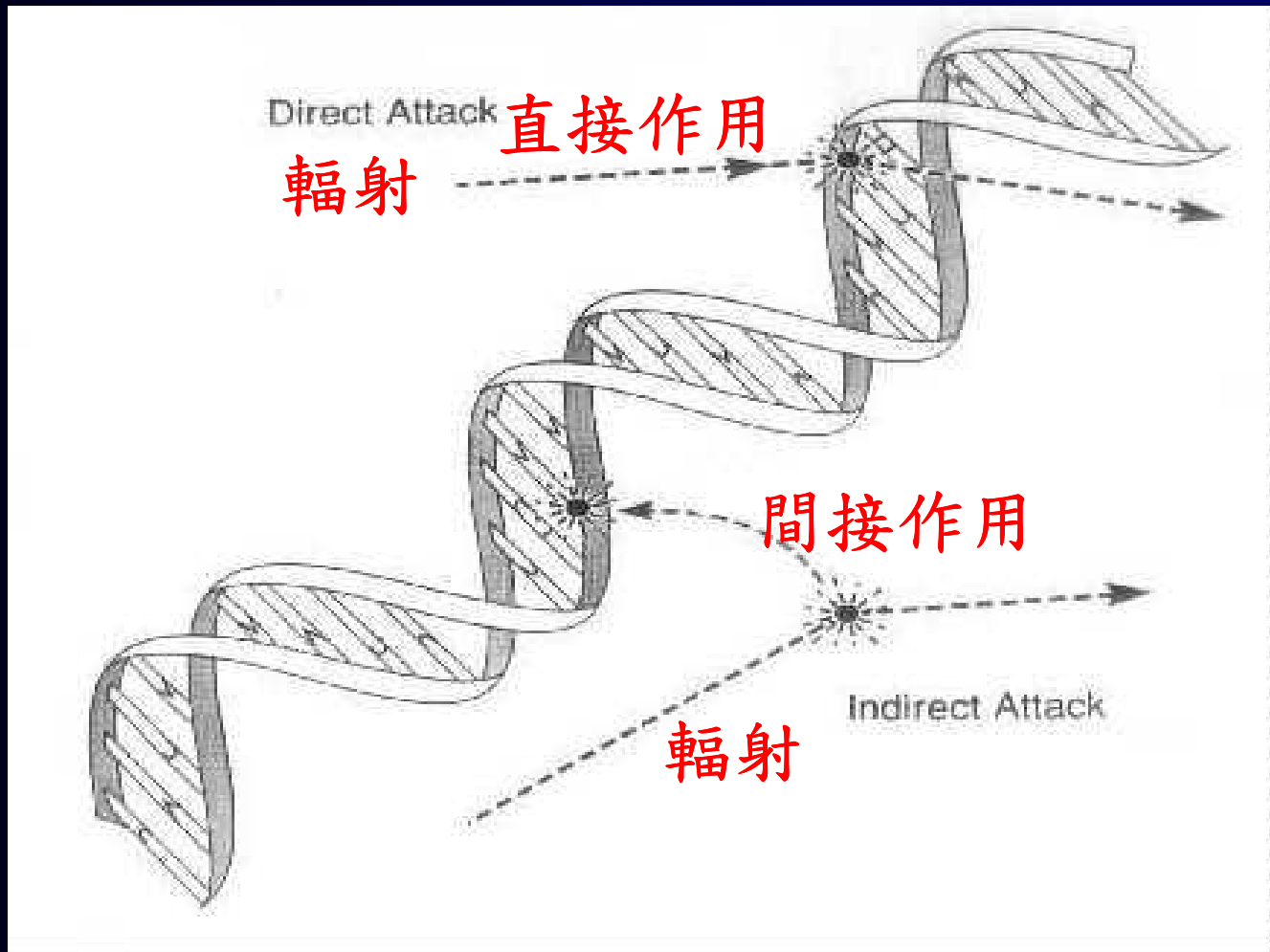
原子輻射

X射線(電磁波)  
電子(負電子)

# 游離輻射

- 核輻射的能量在百萬電子伏特(MeV)的範圍；原子輻射的能量在仟電子伏特(keV)的範圍。
- 這些輻射因能游離物質之分子，產生正負離子對，故稱為游離輻射。
- 游離輻射照射人體，與細胞中的重要分子(如DNA)作用，可使分子鍵斷裂，引起生物效應。

# 輻射與DNA的作用

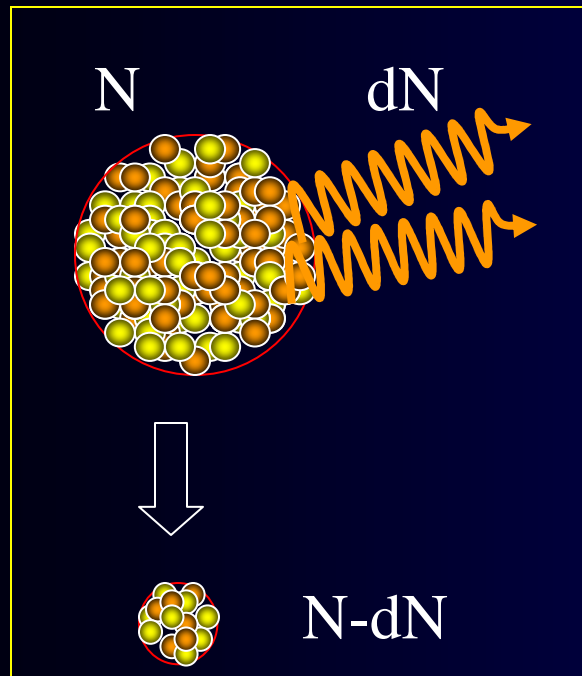


# 游離輻射的特性

- **游離輻射**，隨時隨地都存在，但因我們察覺不到，所以沒有警覺，等到身體受害，可能已經為時過晚。
- 雖然輻射可能引起健康危害，但也不必過分擔心。流行病學的研究顯示，**高劑量的輻射對人體是有害的**，但**低劑量的輻射**(天然背景輻射的變化範圍)，則對人體無害或風險甚低。



# 活度(A)與衰變常數( $\lambda$ )



發生衰變的機率 =  $dN/N$

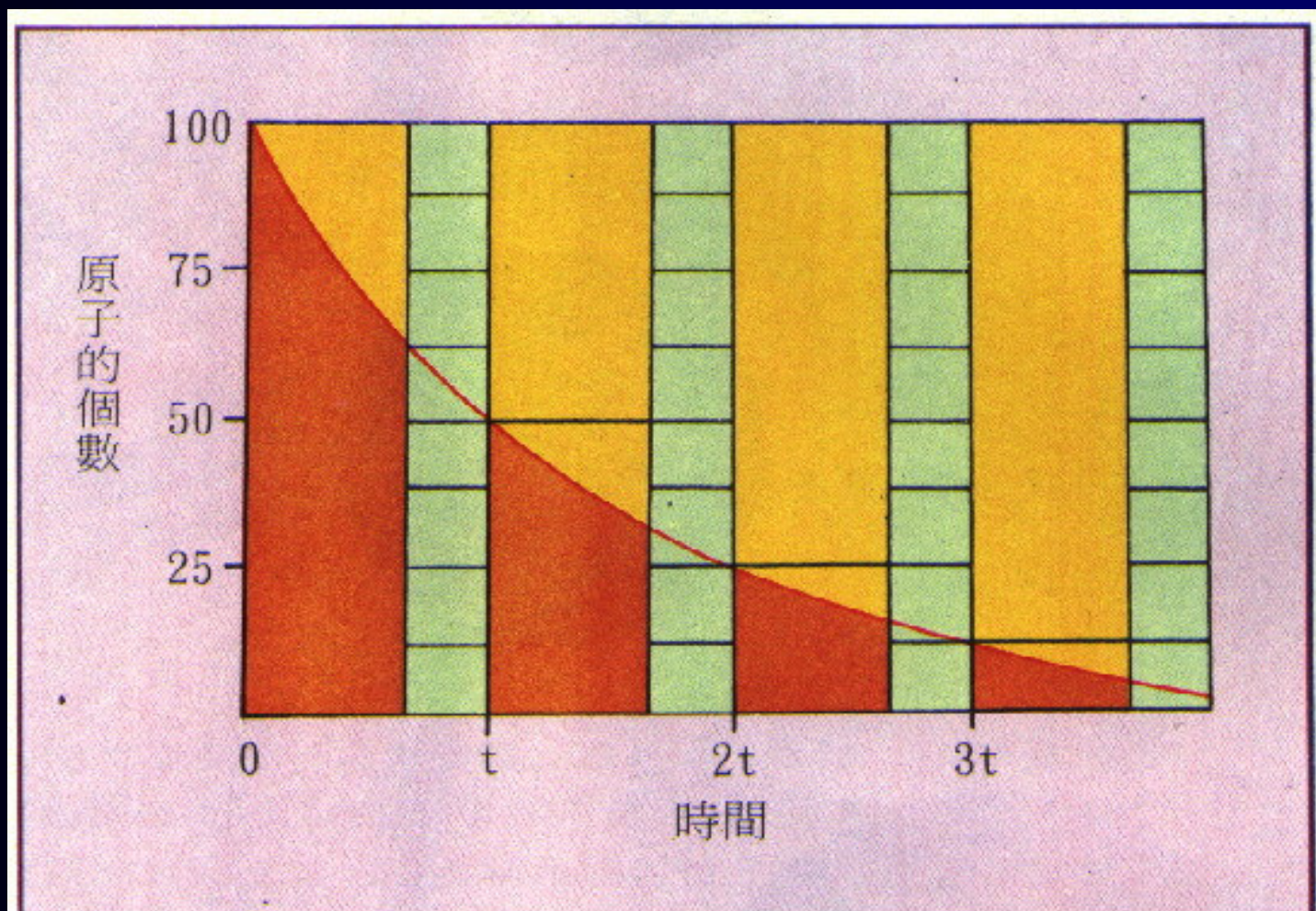
$$\lambda = \frac{\text{發生衰變的機率}}{\text{單位時間}}$$
$$= \frac{dN/N}{dt}$$

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t}$$

活度：每秒原子核衰變的個數

$$\mathbf{A(t)} = \lambda \mathbf{N(t)} = \lambda \mathbf{N(0)} e^{-\lambda t} = \mathbf{A(0)} e^{-\lambda t}$$

放射性同位數經過衰變，其原子個數變為原來一半所需的時間，稱為**半衰期**。



# 相對生物效應 (Relative Biological Effectiveness)

A 輻射    B 輻射 (250keV 之 X-ray)

吸收劑量：  $D_A$        $D_{250}$



相同生物效應

數量：吸收劑量(D)

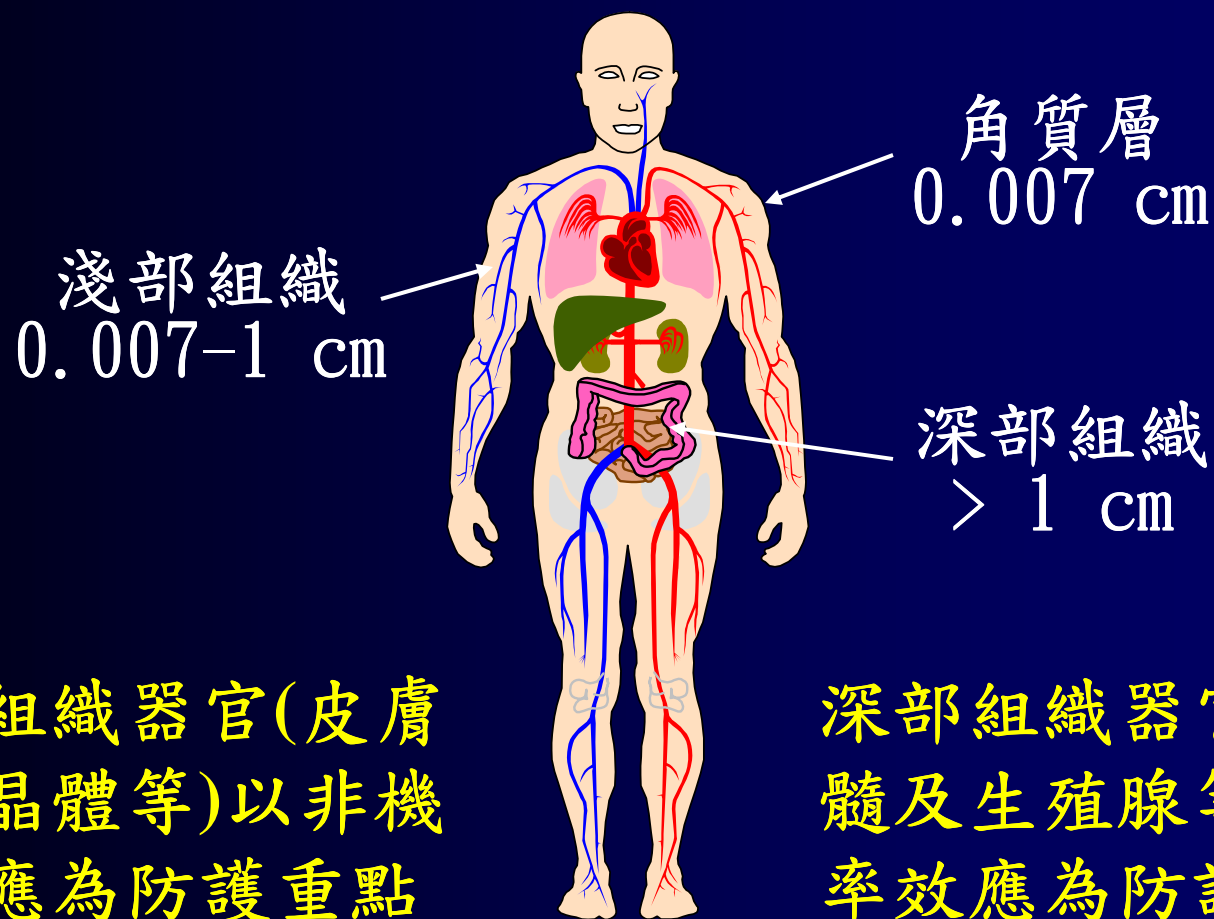
品質：相對生物效應(RBE)

$$RBE = D_{250} / D_A$$

# 輻射的健康效應

- **機率效應**(癌病、遺傳效應等)
  - 效應發生的機率(風險)與劑量呈正比；效應的嚴重程度與劑量無關；沒有低限劑量。
- **非機率效應**(皮膚紅斑、白內障等)
  - 效應的嚴重程度與劑量呈正比；有低限劑量。當劑量小於低限劑量時，效應不會發生；當劑量大於低限劑量時，效應確定發生。

# 輻射健康效應



# 輻射急性效應

## 致死劑量(Lethal Dose), LD

接受曝露後T天，造成曝露群體中50%死亡的全身急性劑量稱為  $LD_{50/T}$  劑量。

如：

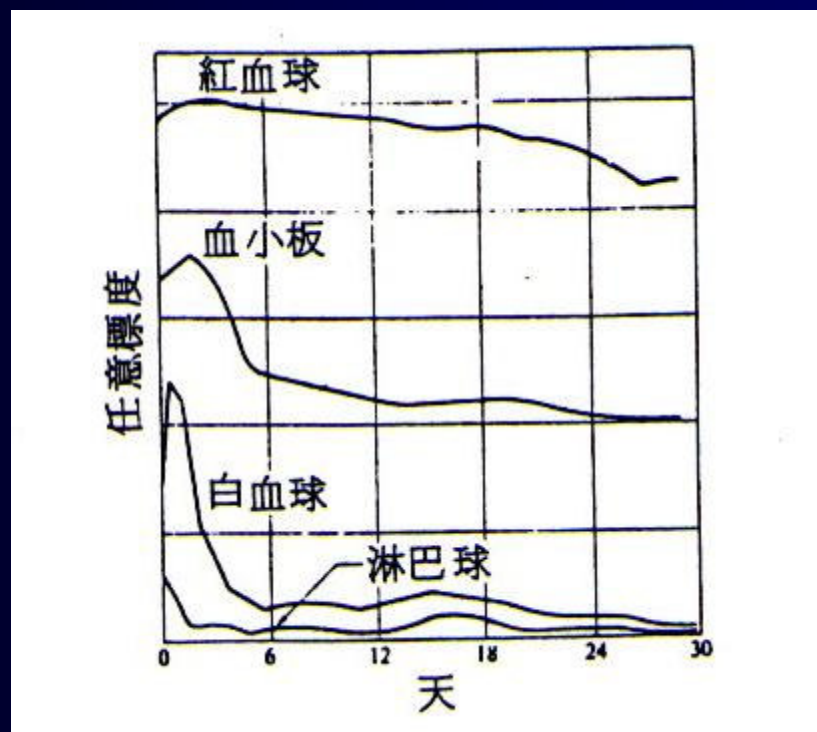
**$LD_{50/30}$**  表示接受這個劑量的人，在30天內會有一半的人死亡。(約 5 Sv)



# 輻射急性效應

## 早期效應

接受急性輻射曝露的早期效應和血液有關。



急性劑量 3 Sv 後的血球數變化

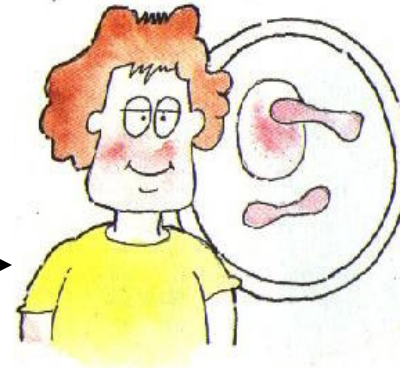
# 非機率效應 (急性效應)

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。

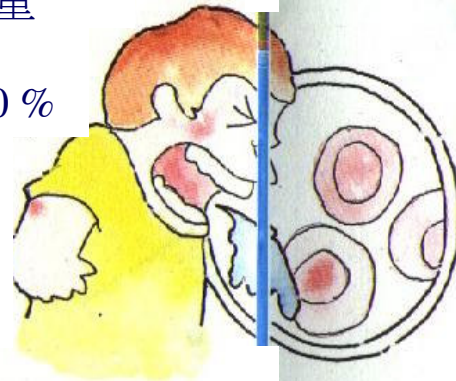


1~2 Sv



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。



# 輻射急性效應

## 後期效應

1. 癌症 (當劑量小於1西弗時，發生白血病的機率與正常人無顯著差別)
2. 白內障 (當劑量小於2西弗時不會發生)
3. 不孕症
4. 突變
5. 萎縮效應
6. 壽命減短

γ射線對人體生殖腺的可能效應	
劑量(Gy)	可能效應
1.5	短期的不孕
2.5	1至2年不孕
5-6	大部分的人永遠不孕
8	所有的人永遠不孕

# 輻射急性效應

## 後期效應

1. 癌症
  2. 白內障
  3. 不孕症
  4. 突變
  5. 萎縮效應
  6. 壽命減短
- (當急性劑量在0.2西弗到2西弗之間時，突變的機率是正常情況的2倍)
- (大劑量對組織器官的傷害，造成新陳代謝失常)

# 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）
- 非密封射源不用時為密封，使用時再打開密封容器。使用此種放射源的工作稱為**非密封型放射性操作**。

# 體外曝露

密封射源



$\alpha$ 粒子

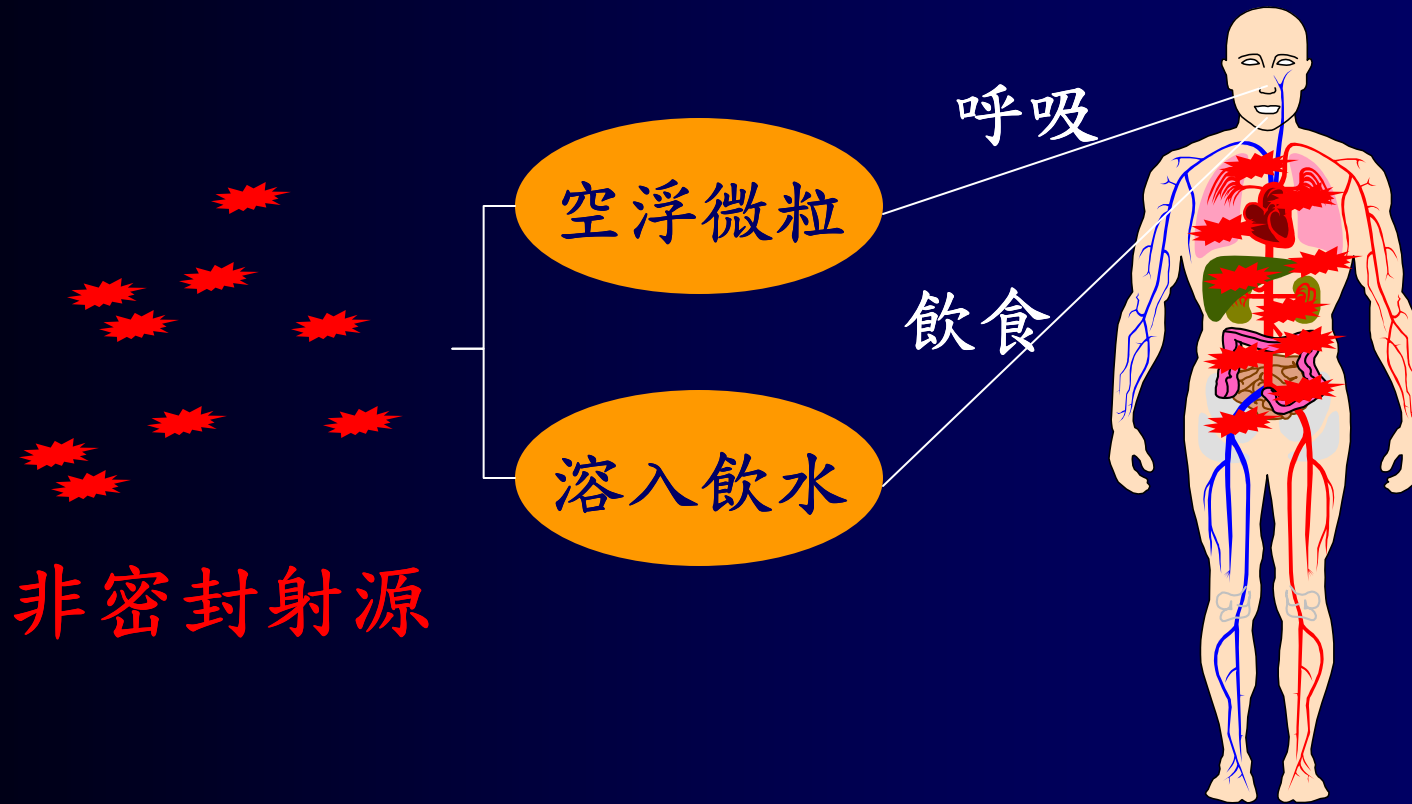
$\beta$ 粒子

X射線、 $\gamma$ 射線

中子

輻射源在身體外面，輻射由體外射入身體。

# 體內曝露



輻射源污染體內，輻射由體內射入組織器官。



# 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



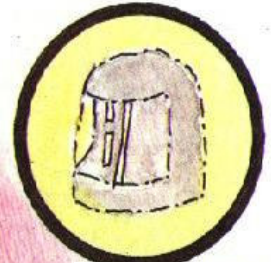
(3) 加屏蔽阻擋輻射

## 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

## $\alpha$ 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（ $Q=20$ ）。

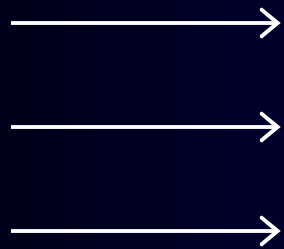
# $\beta$ 粒子屏蔽考量

- 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



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

$f$  =  $\beta$  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

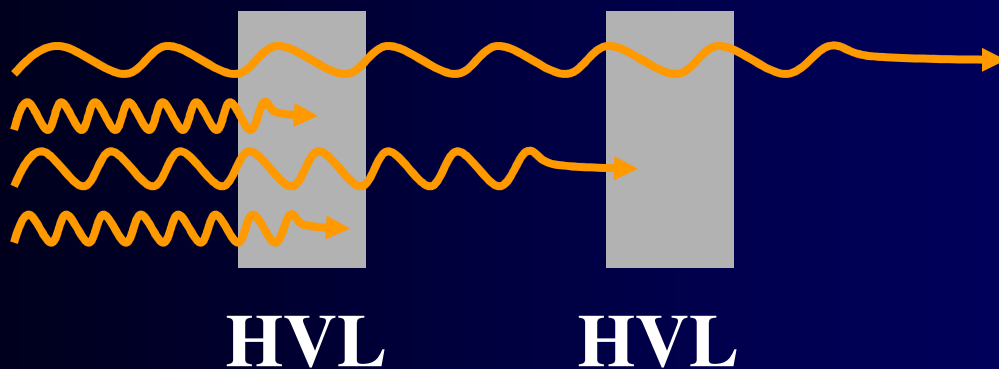
- 低原子序物質的厚度必須大於  $\beta$  粒子的射程，以完全吸收  $\beta$  粒子，並減少制動輻射的產生量。
- 高原子序物質可有效衰減所產生之制動輻射的量。

# 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

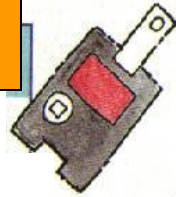
- 半值層 (HVL) — 衰減輻射強度至原來一半所需的屏蔽厚度。
- 針對鈷六十而言， $HVL(\text{鉛})=1.2 \text{ cm}$ ， $HVL(\text{混凝土})=6.2 \text{ cm}$ 。



經過 $N$ 個半值層，輻射強度衰減至原來的 $(0.5)^N$

# 常用來偵測輻射的儀器

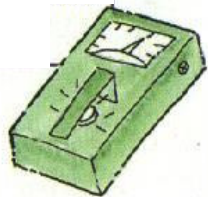
熱發光劑量計



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。

# 輻射劑量限制之目的

- 防止非機率效應損害之發生(絕對安全)。
- 抑低機率效應之發生率，至可接受的低水平(相對安全)。

# 個別組織器官的等值(效)劑量

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

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

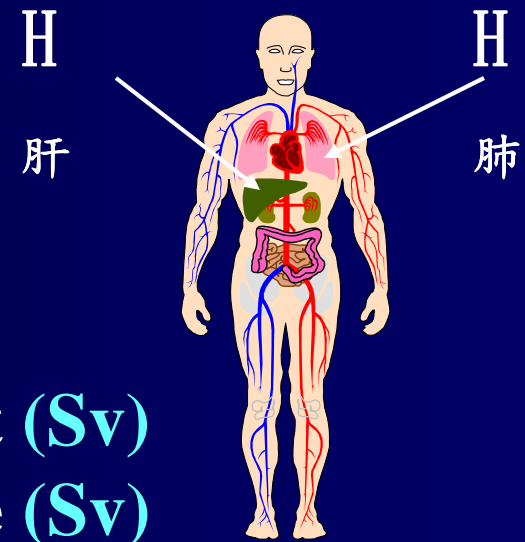
$H_{T,26}$  : 等效劑量 dose equivalent (Sv)

$H_{T,60}$  : 等值劑量 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)



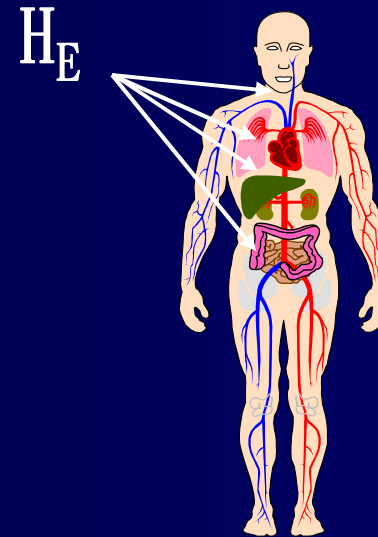
# 輻射加權因數 (Radiation Weighting Factor)

**TABLE 7.8. Quality and Radiation Weighting Factors for Various Radiations**

Radiation	$Q$	$W_R$
X, gamma, beta	1	1
Neutrons		
Thermal	2	5
0.01 MeV	2.5	10
0.1 MeV	7.5	10
0.5 MeV	11	20
>0.1 MeV–2 MeV		20
>2 MeV–20 MeV		5
Unknown energy	10	
High-energy protons	10	5
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei	20	20

*Source:* Adapted from 10 CFR 20 ( $Q$ ) and ICRP 60 ( $W_R$ ). By permission.

# 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

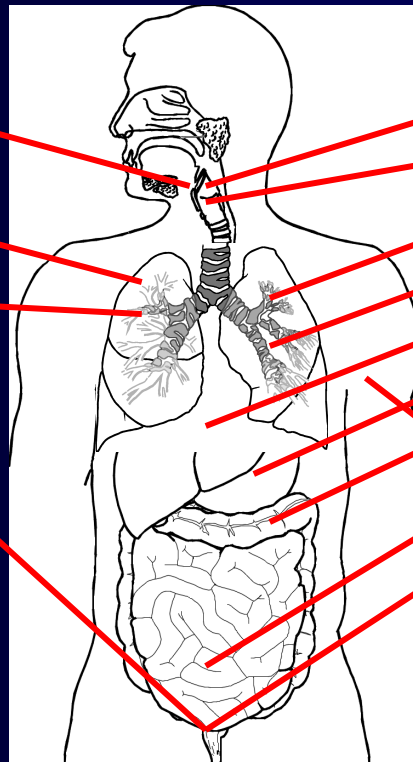
$W_{T,60}$  : 組織加權因數 tissue weighting factor



# ICRP-26 與 ICRP-60 之組織加權因數比較

## 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)

# 輻射的劑量及限值

