

如何做好輻射安全防護

主講人：張秩隆

簡報內容

壹、認識輻射

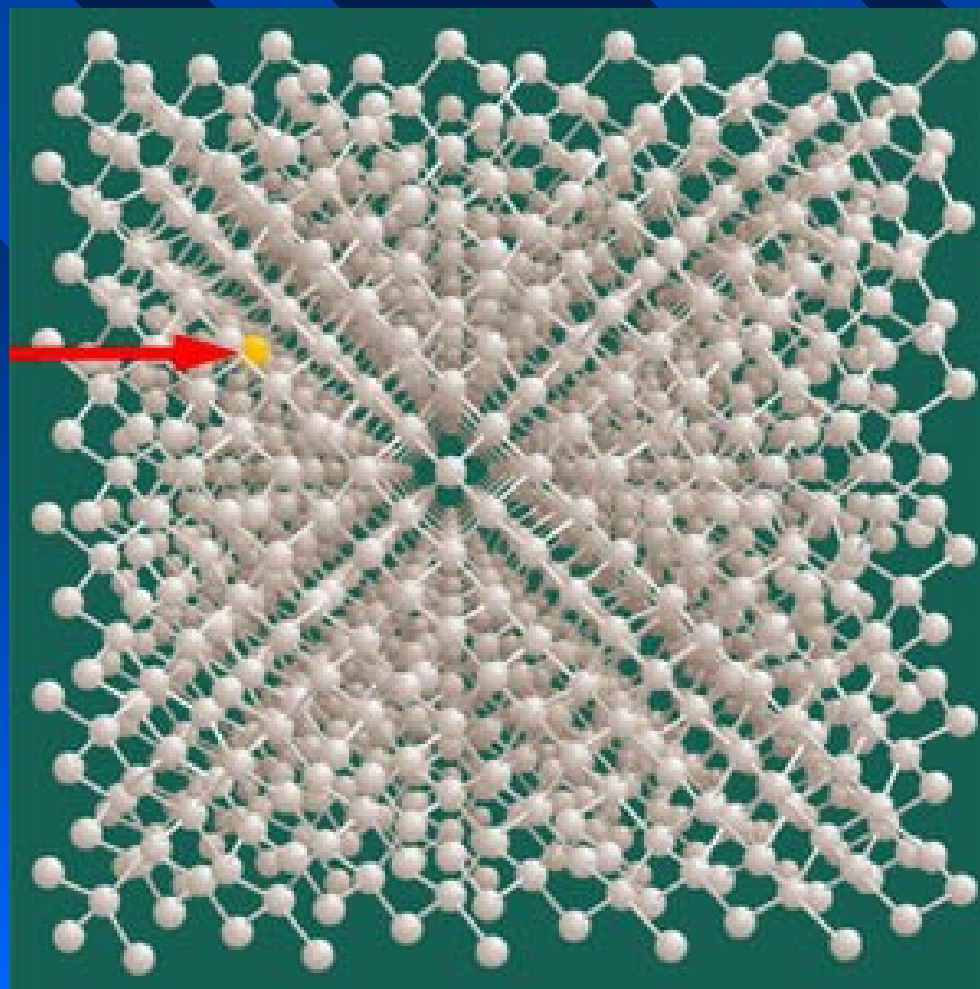
貳、輻射安全防護

參、做好輻射安全

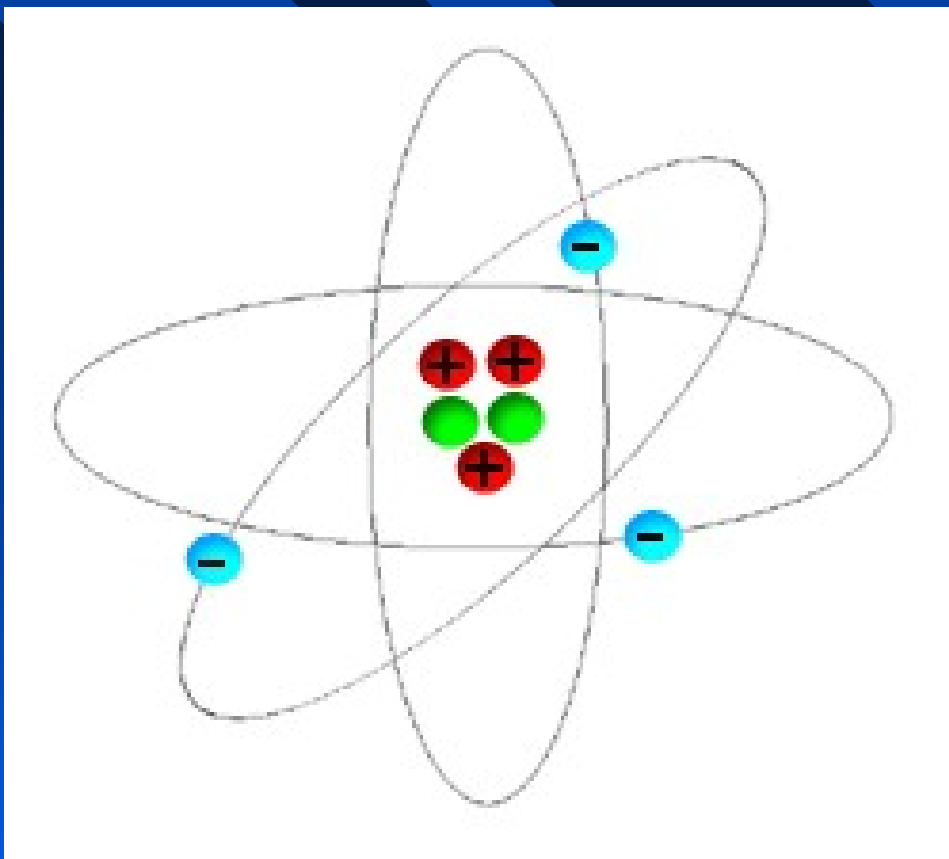
壹、認識輻射

物質由原子所組成

原子



原子由原子核與電子所組成



原子核

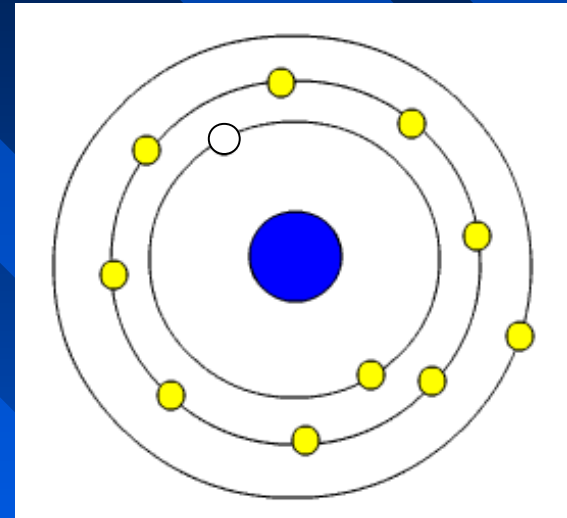
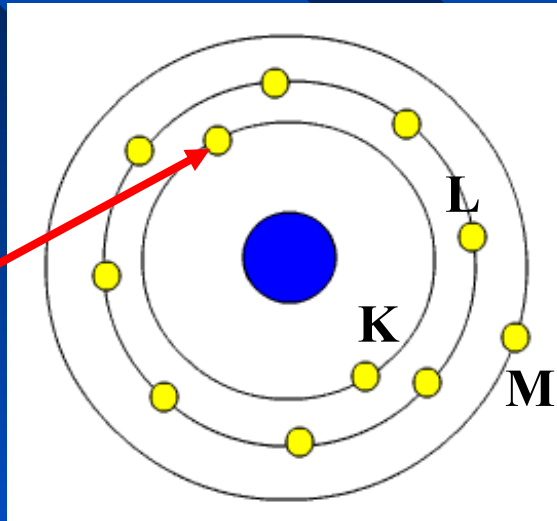
⊕ 質子

● 中子

電子 ●⁻

穩定與不穩定的原子

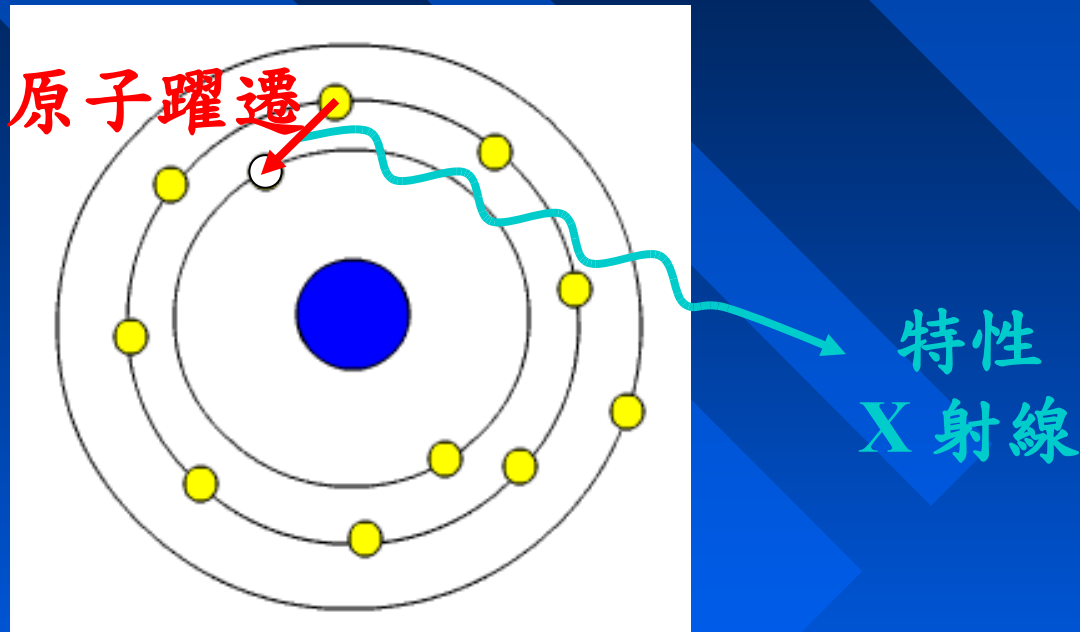
高能電子



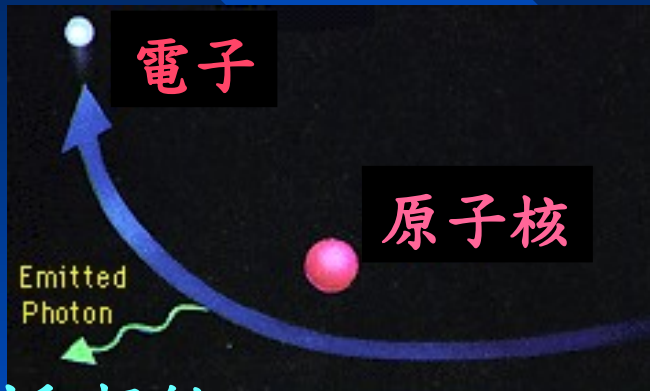
穩定 (基態) 原子

不穩定 (激態) 原子

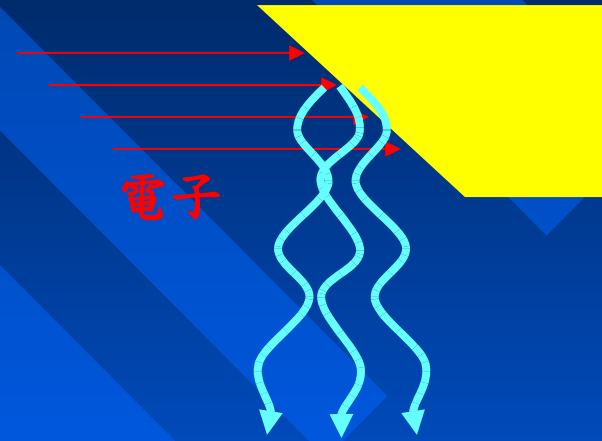
不穩定原子會產生原子躍遷 原子躍遷會產生單能之特性 X 射線



高能電子與原子核作用會產生 制動輻射（連續能量之X射線）



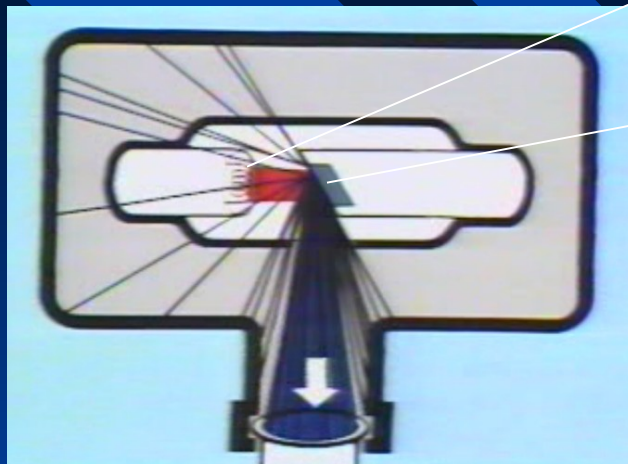
制動輻射



制動輻射

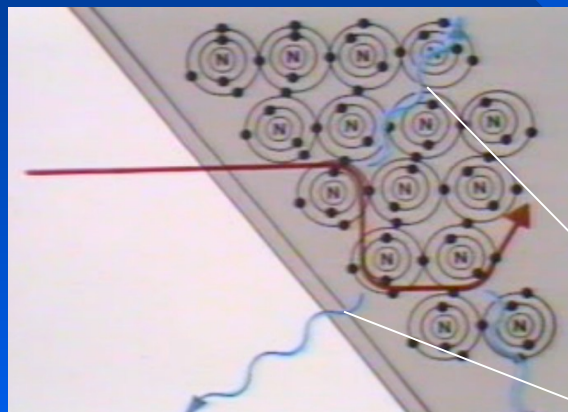
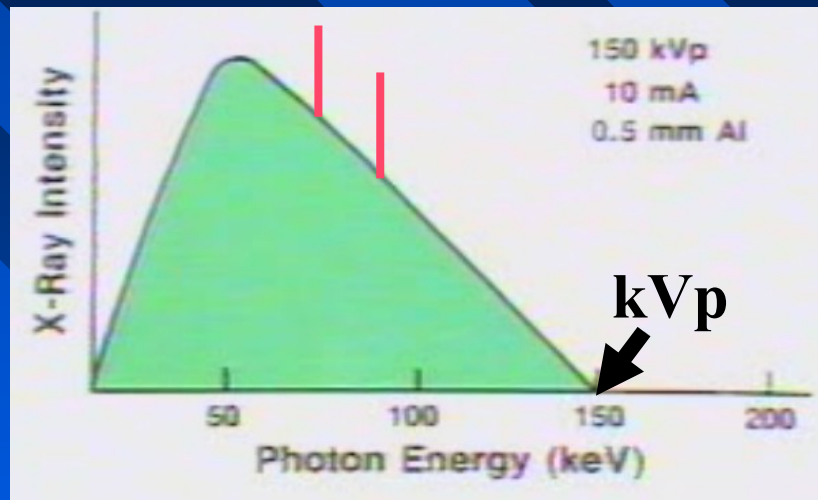
X光機產生之X射線能譜

X光管



陰極

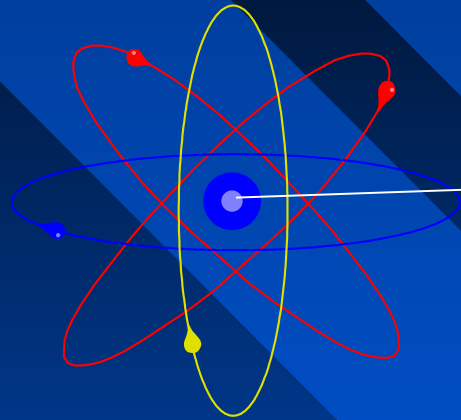
陽極



特性X射線

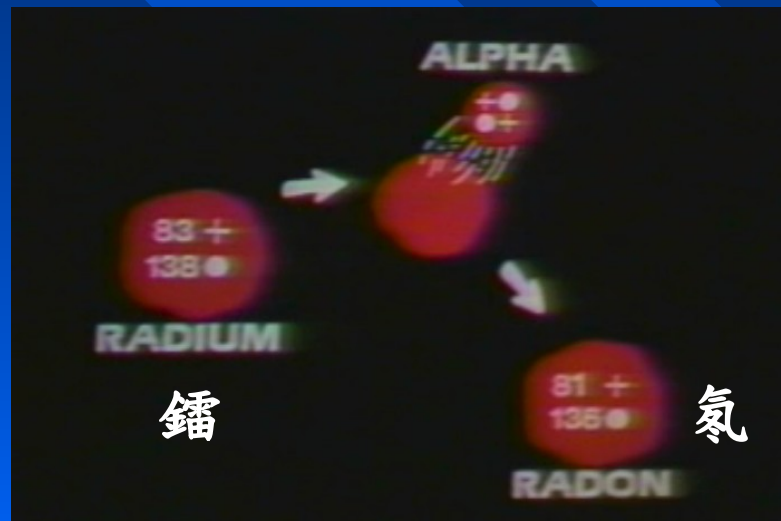
制動輻射

原子核衰變會產生核輻射



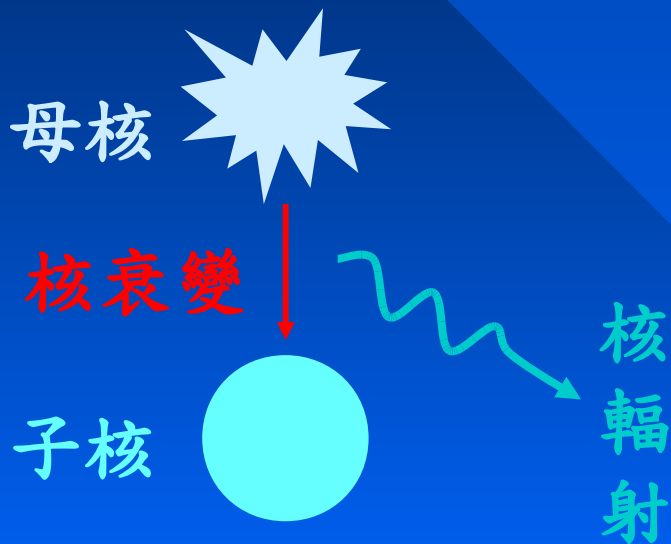
核衰變

- 阿伐粒子 (α)
- 貝他粒子 (β)
- 加馬射線 (γ)
- 中子 (n)

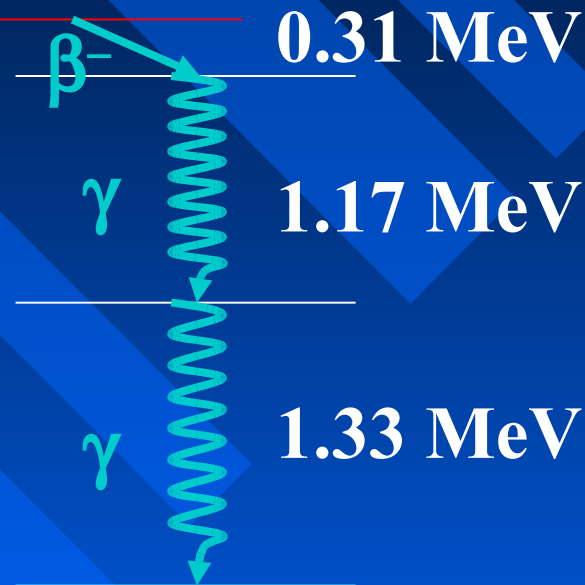


放射性物質與核衰變

放射性物質

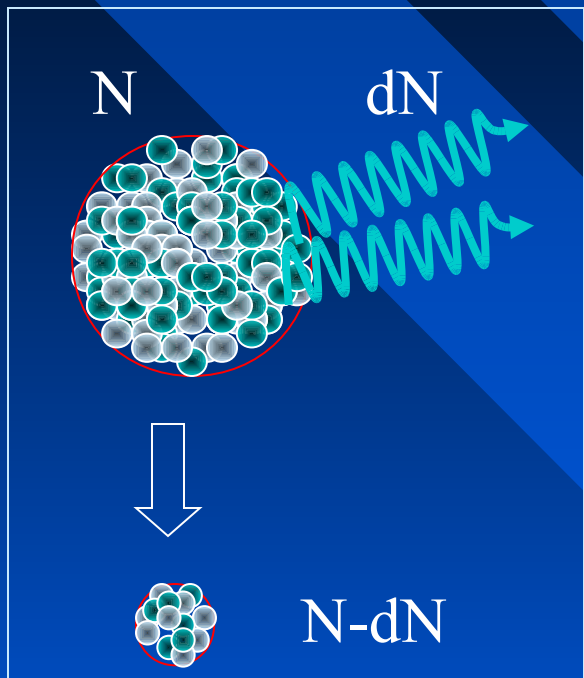


^{60}Co
鈷 -60



^{60}Ni
鎳 -60

活度 (A) 與衰變常數 (λ)



發生衰變的機率 = dN/N

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

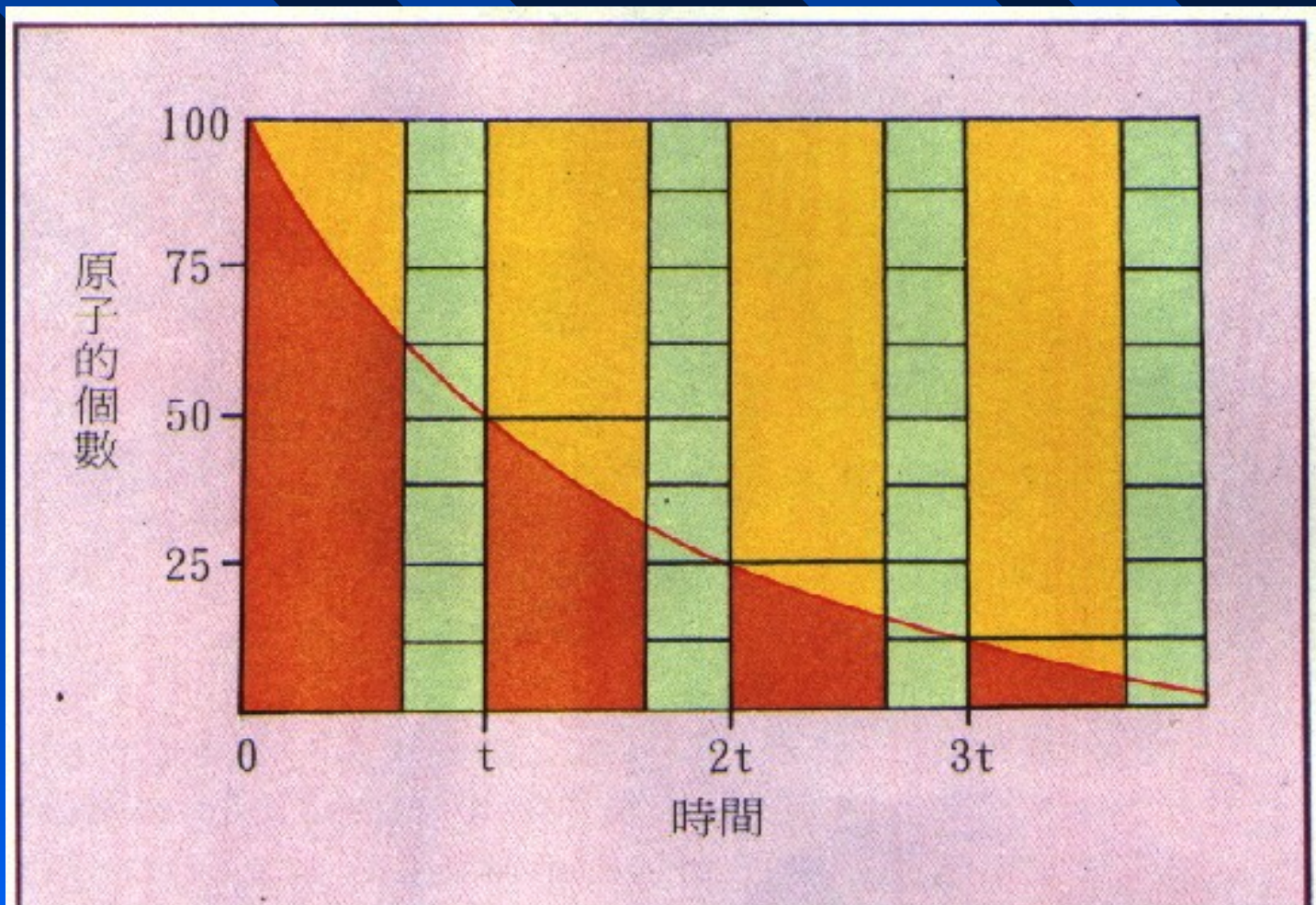
$$= \frac{dN/N}{dt}$$

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

活度：每秒原子核衰變的個數

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

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。



活度及半衰期

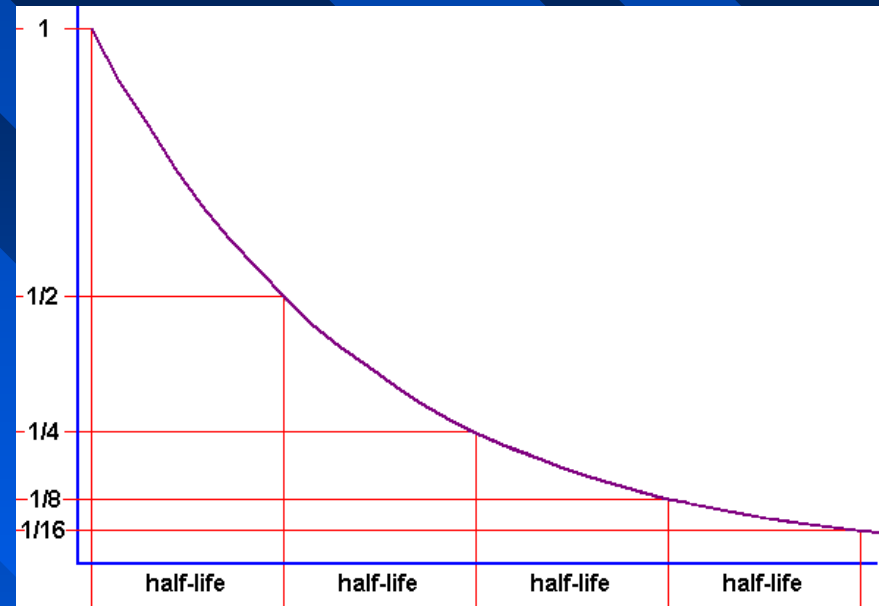
■ 活度：一秒鐘多少次衰變

– 1 Bq (貝克) = 1 / 秒

– 1 Ci (居里) =
3.7x10¹⁰ / 秒

■ 半衰期：半數原子衰變所需的時間

– ⁶⁰Co: 半衰期 = 5.27
年



游離輻射與非游離輻射

- 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。
- 這些輻射因可游離空氣分子，產生帶正電與負電之離子對，故稱為游離輻射。
- 游離輻射與人體細胞之重要分子 (如 DNA) 作用，可造成分子鍵斷裂，引起生物效應。

表7-1 輻射的分類

游離輻射	作用	直接游離輻射	阿伐 (α)、貝他 (β)、正電子 (β^+)。
	分類	間接游離輻射	加馬射線 (γ)、X 射線、中子 (n)。
	能量形式	粒子型輻射	阿伐 (α)、貝他 (β)、正電子 (β^+)、中子 (n)。
		電磁波型輻射	加馬射線 (γ)、X 射線。
非游離輻射	紫外線、可見光、紅外線、微波、無線電波、雷射。		

輻射的認知 - 游離輻射與非游離輻射

- 每種原子的結構差異甚巨，輻射對不同原子產生游離作用或非游離作用所需要的能量皆不相同。因此一般游離輻射與非游離輻射的區別以 10 KeV 能量作為分界點。輻射所具有的能量高於 10 KeV 者，稱為游離輻射，反之，輻射所具有能量低於 10 KeV 者，稱為非游離輻射。一般常稱的輻射或放射線，皆是指游離輻射而言。
 1. 游離輻射：指能量高到可能使物質產生游離作用的輻射，游離輻射又可分為電磁輻射及粒子輻射。
 2. 非游離輻射：指能量低無法產生游離的輻射，例如太陽光、燈光、紅外線、微波、無線電波、雷達波等。

游離與非游離輻射的認識與區別

➤ 游離輻射

- 頻率 $> (2 \times 10^{-18}) / (6.63 \times 10^{-34}) = 3 \times 10^{15} \text{ Hz}$
- 波長 $< (3 \times 10^8) / (3 \times 10^{15}) = 10^{-7} \text{ m} = 100 \text{ nm}$
- 具致癌性 (X 光...)

➤ 非游離輻射

- 頻率 $< 3 \times 10^{15} \text{ Hz}$
- 不具致癌性
- 但具高頻熱效應和低頻感電效應

環保署非游離輻射環境建議值

■ 來源依據

- ICNIRP (國際非游離輻射防護委員會) Guidelines-1998 「一般民眾」曝露準則 (WHO)

■ 頻率涵蓋範圍

- > 0 Hz - 300 GHz

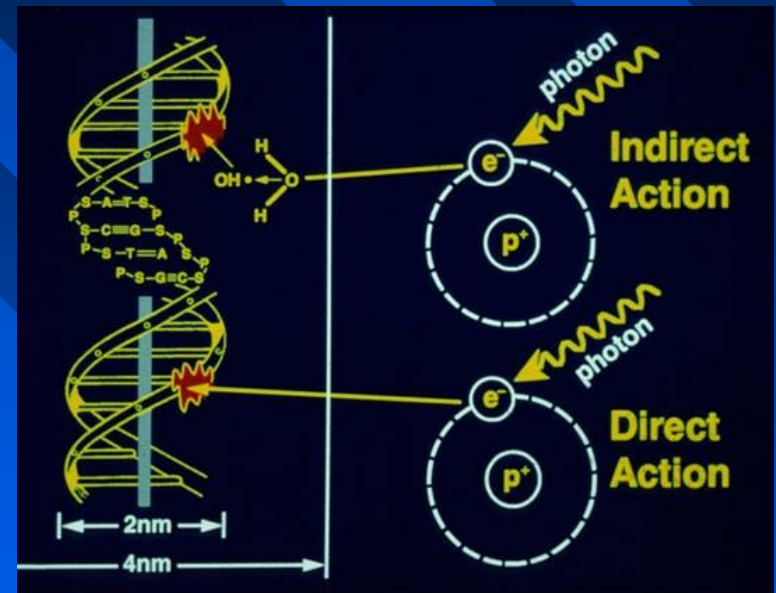
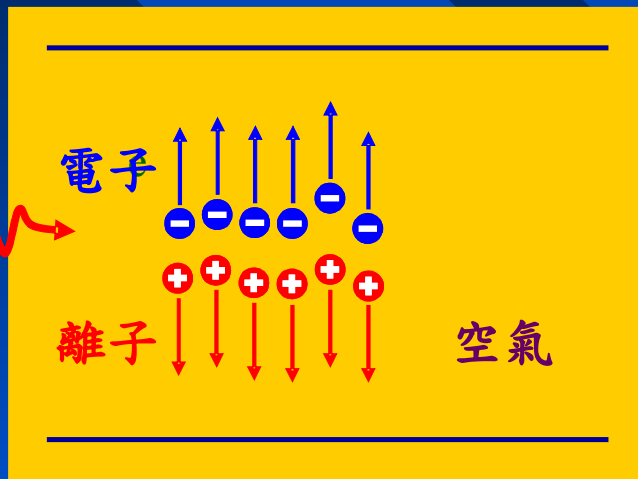
■ 制定目的

- 避免低頻電磁場引發有害的急性 (acute) 感電效應
- 避免高頻電磁場引發有害的急性熱效應
- 內含 50 倍安全係數

- ❖ WHO/ICNIRP : 「迄今仍無確切的科學證據顯示癌症、生育或神經系統問題與長期曝露有關」

游離輻射與空氣及細胞之作用

游離輻射



輻射源

可發生游離輻射設備

X光機



直線加速器



輻射源

放射性物質



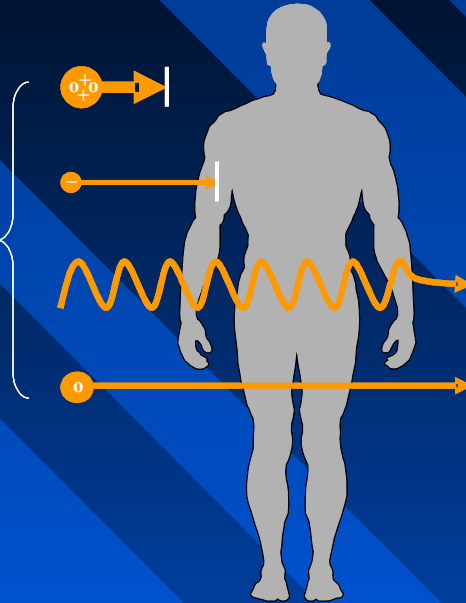
密封與非密封放射性物質

輻射曝露

體外曝露

體內曝露

密封射源
(金屬護套)



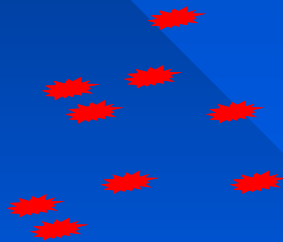
α 粒子

β 粒子

X射線、γ射線

中子

非密封射源
(無金屬護套)



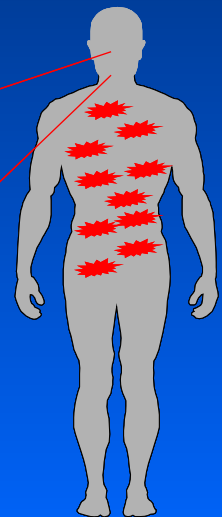
空浮污染

飲食污染

吸入

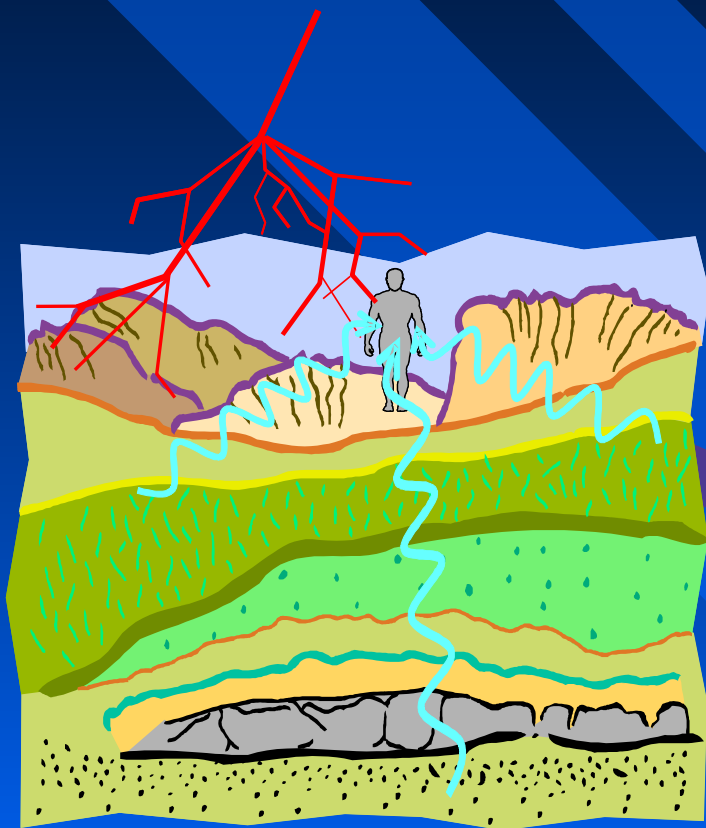
嚥入

體內污染

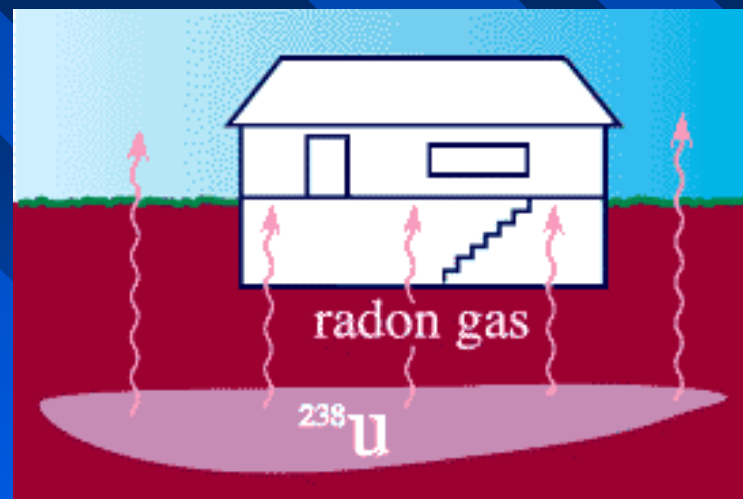


天然輻射

宇宙射線

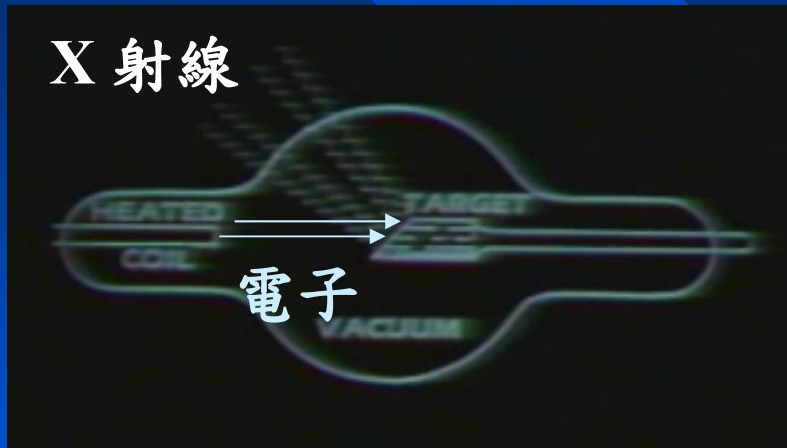


地表輻射



氡氣

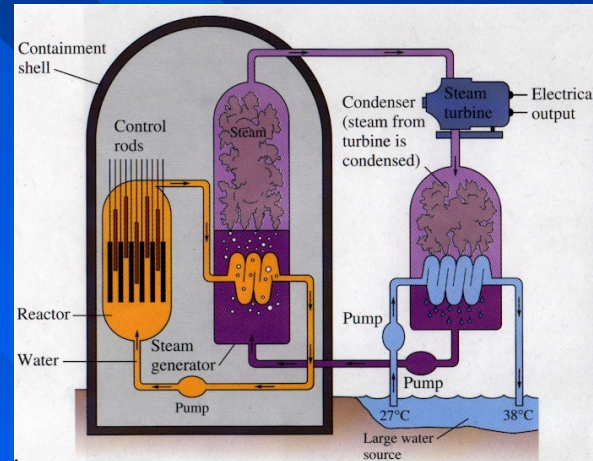
人造輻射



X 光管



放射廢料



核反應器

人造游離輻射

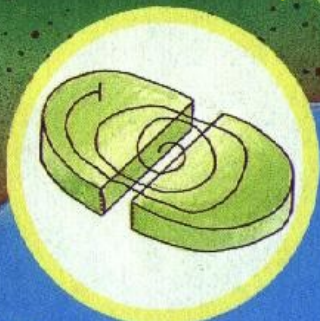


核爆落塵

核能電廠、醫療單位、研究機構，
都可能製造少許的人造游離輻射。



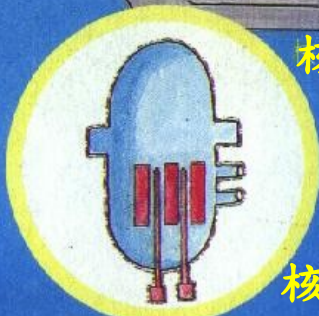
工業用



迴旋加速器



核電廠



核子反應器



醫療診斷與治療



研究單位



X光機

游離輻射防護法

第二條 名詞定義

- **放射性物質**：指可經由**自發性核變化**釋出**游離輻射**之物質。
- **可發生游離輻射設備**：指核子反應器設施以外，用電磁場、原子核反應等方法，**產生游離輻射**之設備。
- **輻射源**：指產生或可產生游離輻射之來源，包括**放射性物質**、**可發生游離輻射設備**或**核子反應器**及其他經主管機關指定或公告之物料或機具。
- **背景輻射**：（1）宇宙射線。（2）天然存在於地殼或大氣中之天然放射性物質釋出之**游離輻射**。（3）一般人體組織中所含天然放射性物質釋出之**游離輻射**。（4）因核子試爆或其他原因而造成**含放射性物質之全球落塵**釋出之**游離輻射**。

貳、輻射安全防護

■ 游離輻射防護安全標準

■ 劑量：指物質吸收之輻射能量或其當量。

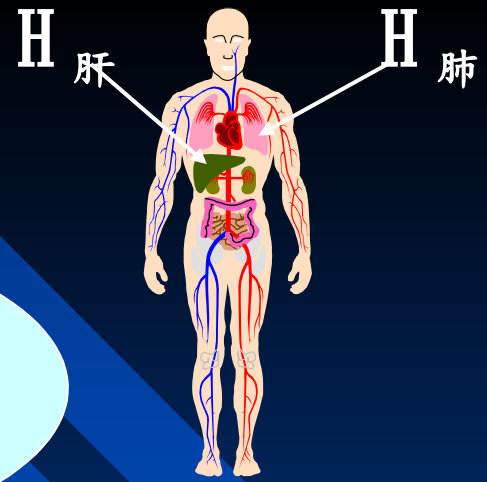
■ 吸收劑量：指單位質量物質吸收輻射之平均能量，其單位為戈雷，一千克質量物質吸收一焦耳能量為一戈雷。

■ 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，其單位為西弗。

■ 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，其單位為西弗。

個別組織器官的等效劑量 與等價劑量



人體器官或組織之吸收劑量與射質因數之乘積。

- $H_{T,26} = D Q$

- 此處 D 為吸收劑量 (Gy)

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

- $H_{T,60} = D_T W_R$

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

- D_T : 吸收劑量, Organ absorbed dose (Gy)

- Q : 射質因數, Quality factor

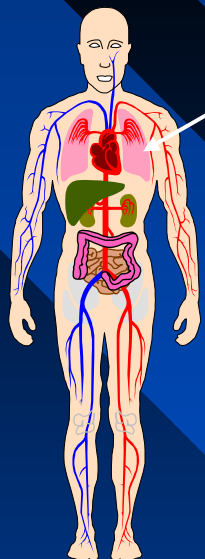
- W_R : Radiation weighting factor 輻射加權因數

指器官劑量與對應輻射加權因數乘積之和。

指單位質量之組織或器官吸收輻射之平均能量。

ICRP-26 射質因數與 ICRP-60 輻射加權因數的比較

輻射種類與能量區間 ⁽²⁾	輻射加權因數 W_R	射質因數 Q
所有能量之光子	1	1
所有能量之電子及 μ 介子 ⁽³⁾	1	1
中子 ⁽⁴⁾ 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	10
α 粒子, 分裂碎片, 重核	20	20



H 肺

等價劑量：指器官劑量與對應輻射加權因數乘積之和。輻射 R 在組織或器官 T 中產生的等價劑量 $H_{T,R}$ 是組織或器官 T 中的平均吸收劑量 $D_{T,R}$ 與輻射加權因數 W_R 的乘積，亦為西弗 (Sv)。

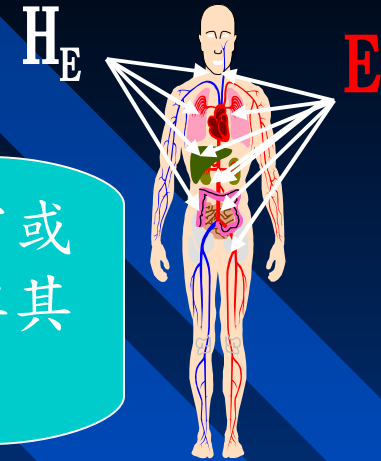
$$H_{T,R} = D_{T,R} \cdot W_R$$

輻射 R 在組織或器官 T 中所產生的等價劑量，單位為西弗 (Sv)

輻射 R 在組織或器官 T 內的平均吸收劑量

輻射 R 的輻射加權因數

ICRP-26 有效等效劑量與 ICRP-60 有效劑量的比較



指人體受照射之各器官或組織之平均等效劑量與其加權因數乘積之總和

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

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

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

E ：有效劑量 (Sv)，(effective dose)

$W_{T,26}$ ：加權因數，(weighting factor)

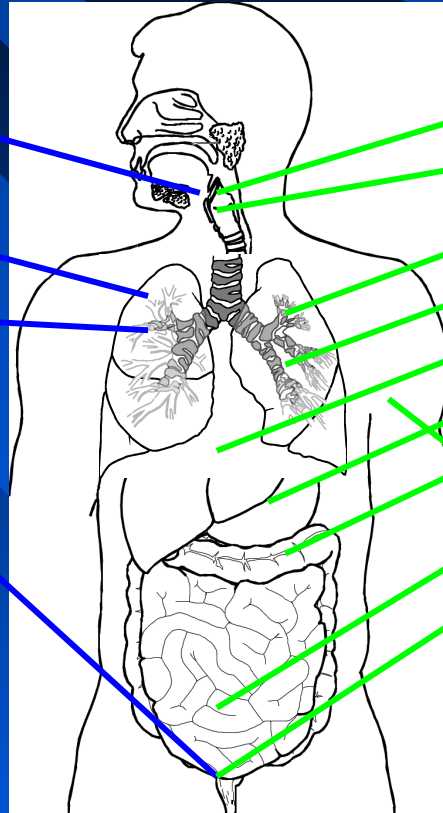
$W_{T,60}$ ：組織加權因數，(tissue weighting factor)

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

加權因數與組織加權因數

Tissue ($W_{T,26}$)

- 甲狀腺 (0.03)
- 肺 (0.12)
- 乳 (0.15)
- 性腺 (0.25)
- 骨表面 (0.03)
- 紅骨髓 (0.12)
- 其餘組織 (0.30)



Tissue ($W_{T,60}$)

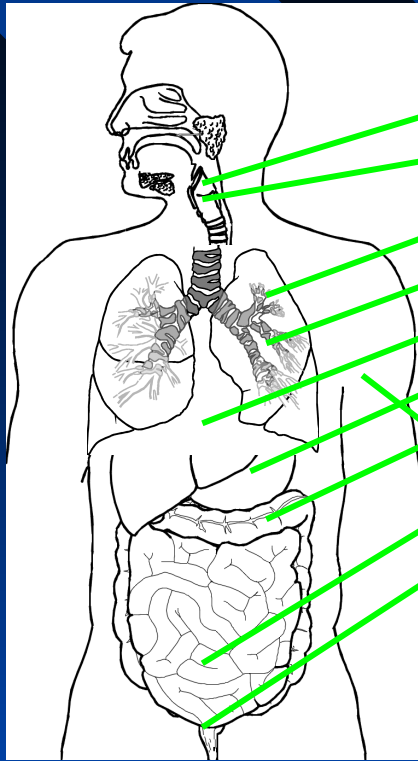
- 甲狀腺 (0.05)
- 食道 (0.05)
- 乳腺 (0.05)
- 肺 (0.12)
- 胃 (0.12)
- 肝 (0.05)
- 結腸 (0.12)
- 膀胱 (0.05)
- 性腺 (0.20)
- 皮膚 (0.01)
- 骨表面 (0.01)
- 紅骨髓 (0.12)
- 其餘組織 (0.05)

$$H_E = \sum_T W_{T,26} H_T$$

其餘組織取 10 個接受劑量最大的組織

$$E = \sum_{32}^T W_{T,60} H_T$$

組織加權因數



- 甲狀腺 (0.05)
- 食道 (0.05)
- 乳腺 (0.05)
- 肺 (0.12)
- 胃 (0.12)
- 肝 (0.05)
- 結腸 (0.12)
- 膀胱 (0.05)
- 性腺 (0.20)
- 皮膚 (0.01)
- 骨表面 (0.01)
- 紅骨髓 (0.12)
- 其餘組織 (0.05)

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)。

$$E = \sum_T W_T H_T$$

有效劑量，
單位為西弗
(Sv)

組織或器官 T
的組織加權因
數

組織或器官
T 所受的等
價劑量

$$E = \sum_T W_T \cdot \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

基本劑量 (防護量)

● ICRP-26

● 等效劑量

● 有效等效劑量

每連續五年週期之有效等效劑量不得超過一百毫西弗，且任何單一年內之有效等效劑量不得超過五十毫西弗。

眼球水晶體之等效劑量於一年內不得超過一百五十毫西弗。

皮膚或四肢之等效劑量於一年內不得超過五百毫西弗。(第7條)

ICRP-60

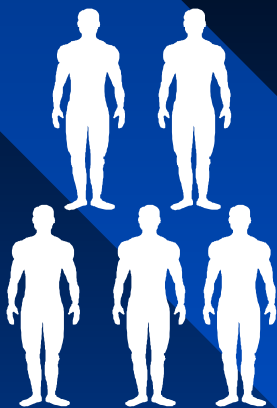
等價劑量
有效劑量

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。

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。

皮膚或四肢之等價劑量於一年內不得超過五百毫西弗。(第7條)

一般人劑量限度



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。（第12條）



熱發光劑量計



全身計



尿樣閃爍計測分析³⁶

游離輻射防護安全標準

第 7 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 10 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 11 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 12 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。**

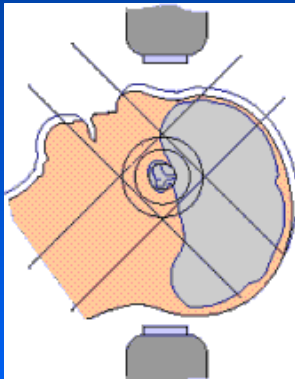
低劑量輻射無害

- 地球上每人每年所受的天然輻射劑量約為3毫西弗，但高輻射地區居民的輻射劑量則達此平均劑量的十倍以上
- 人類世世代代與天然輻射共存，流行病學研究顯示，高輻射地區居民之天然輻射並未引起任何有害的健康效應



高劑量輻射有害

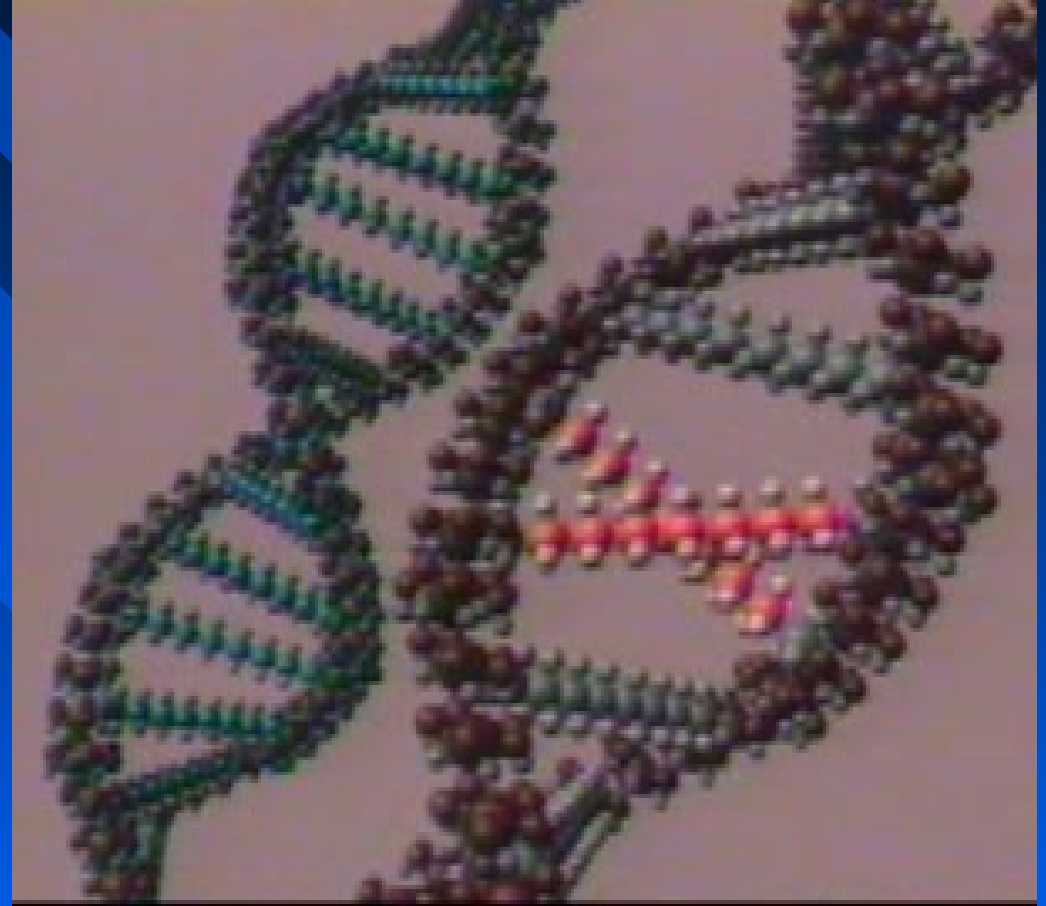
- 放射治療中使用 60 戈雷以上的劑量殺死腫瘤
- 長時間 X 光透視可能引起皮膚效應，包括紅斑、脫毛、龜裂、壞死等
- 日本長崎、廣島原子彈生還者之流行病學研究顯示，輻射可能誘發癌症



游離輻射的細胞效應

- 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。
- 低劑量輻射產生之單股斷裂，會自動修復。
- 高劑量輻射產生之雙股斷裂，因無法修復故易產生生物效應。

輻射與 DNA 的作用



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。
- **確定效應**（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。

機率效應

- 效應發生的機率與劑量呈正比



1 Sv



2 Sv

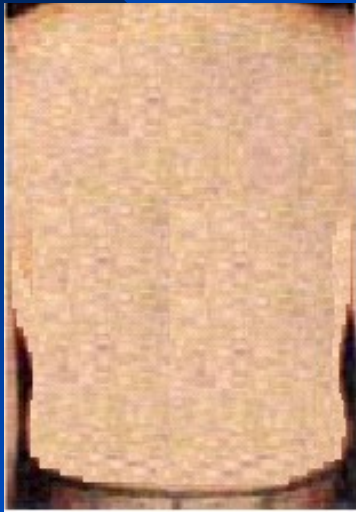


3 Sv

- 效應的嚴重程度與劑量無關
- 低限劑量可能不存在

確定效應（非機率效應）

- 當劑量小於低限劑量時效應確定不發生
- 當劑量大於低限劑量時效應確定會發生



小於低限劑量
效應不會發生



大於低限劑量
效應一定發生



劑量愈高
愈嚴重

- 效應發生後嚴重程度與劑量呈比例

游離輻射防護安全標準

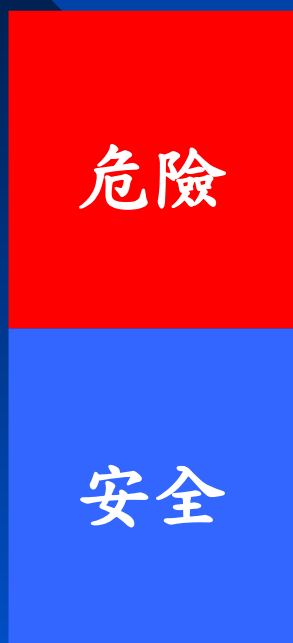
第 6 條

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。
- 二、考慮經濟及社會因素後，一切曝露應合理抑低。
- 三、個人劑量不得超過本標準之規定值。

前項第三款個人劑量，指個人接受體外曝露及體內曝露所造成劑量之總和，不包括由背景輻射曝露及醫療曝露所產生之劑量。

絕對安全與相對風險

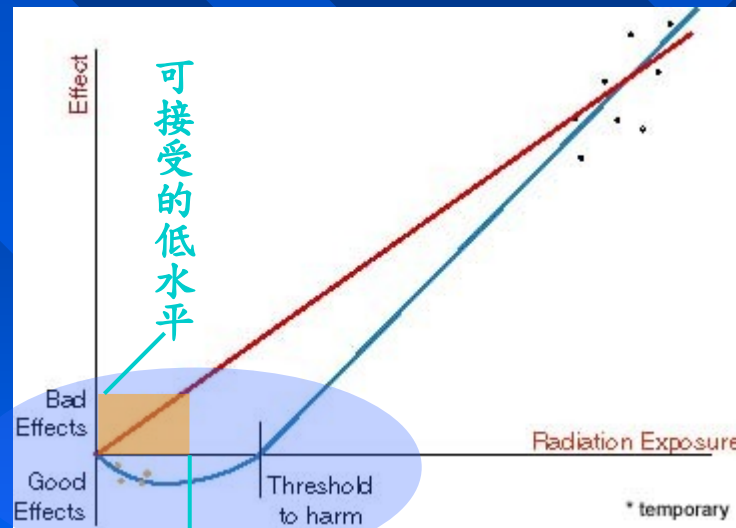


非機率效應（確定效應）

機率效應

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）。



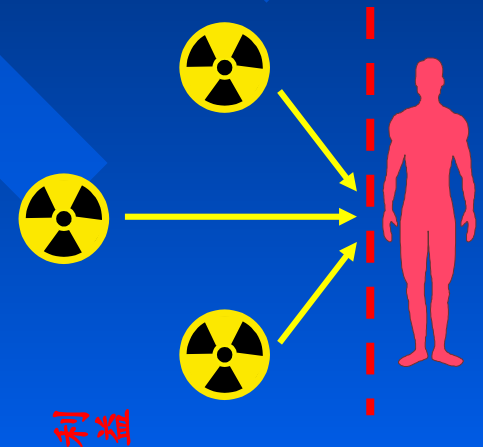
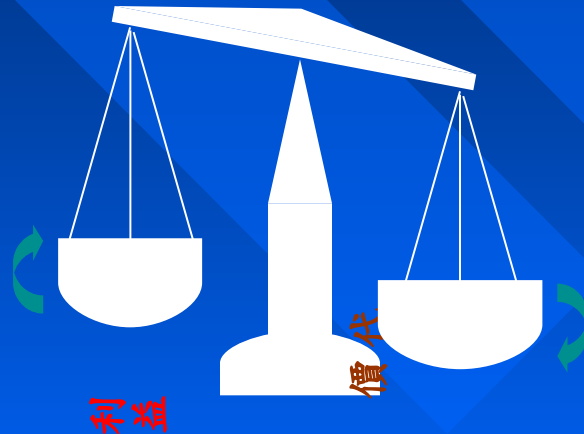
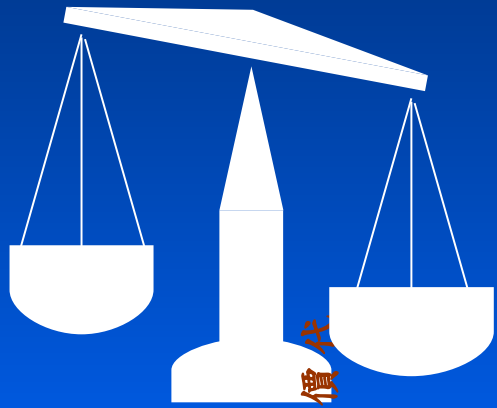
劑量限度

50

* temporary

輻射防護系統

- 輻射應用之利益須超過代價（正當化原則）
- 輻射曝露應合理抑低（最適化原則）
- 個人劑量不得超過劑量限度（限制化原則）

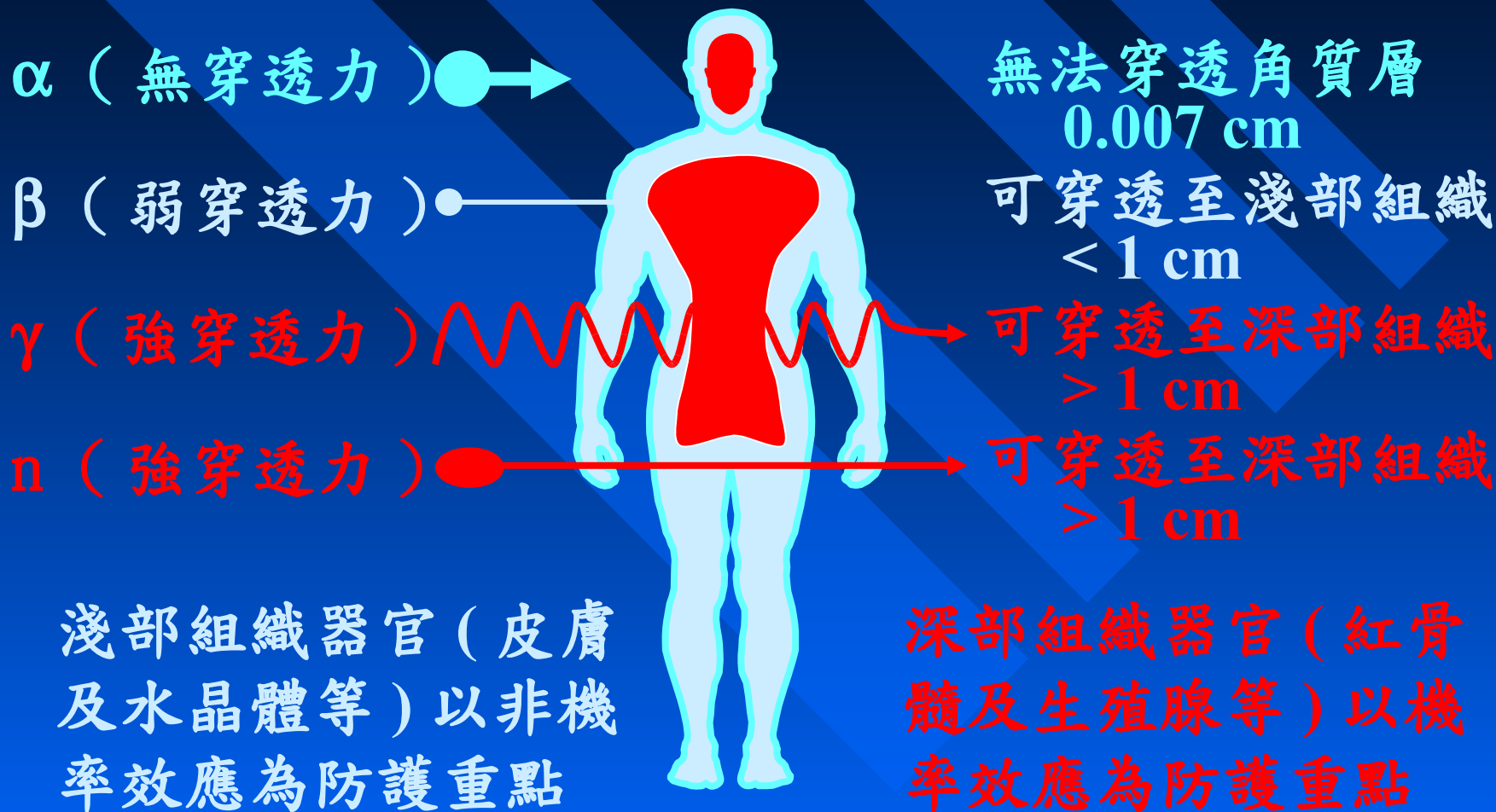


游離輻射防護安全標準

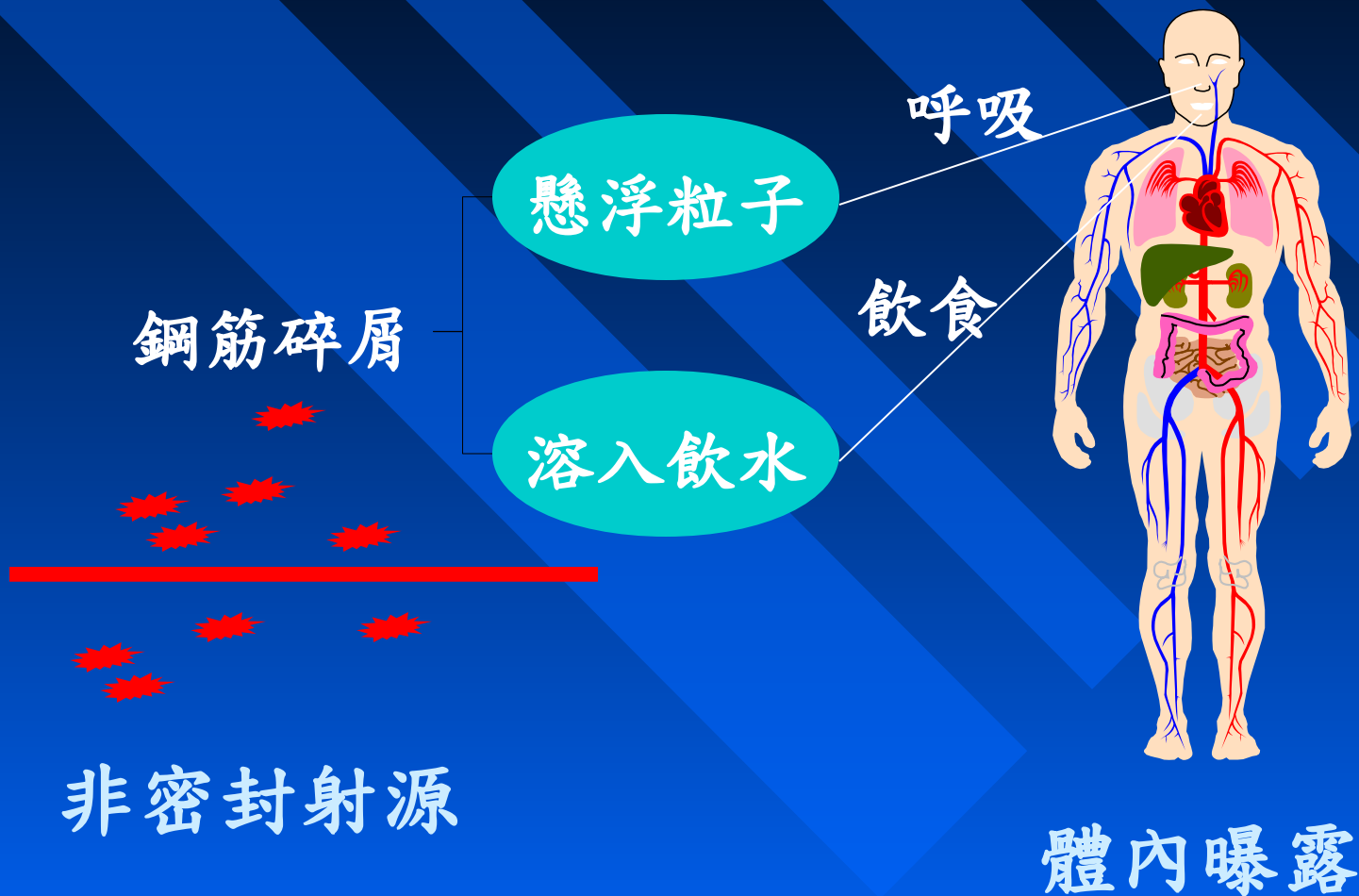
第 2 條

- **體外曝露**：指游離輻射由**體外**照射於身體之曝露。
- **體內曝露**：指由侵入**體內**之放射性物質所產生之曝露。
- **活度**：指一定量之放射性核種在某一時間內發生之自發衰變數目，其單位為貝克，**每秒自發衰變一次為一貝克**。

體外曝露之輻射穿透能力比較



體內曝露



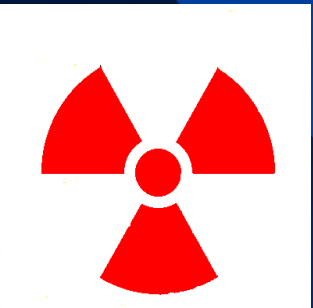
劑量係數 (Dose coefficient)

活度 \longrightarrow 劑量

輻射工作人員吸入及嚥入每單位攝入量之放射性核種
(氬子核與子核除外) 產生之約定有效劑量 $h(g)$
(西弗 / 貝克 , $Sv \cdot Bq^{-1}$) — 附表 3.1

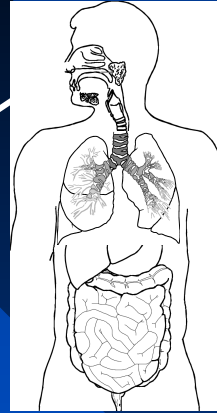
A LI 在新標準已不再用於判定攝入核種造成之劑量

計算有效劑量



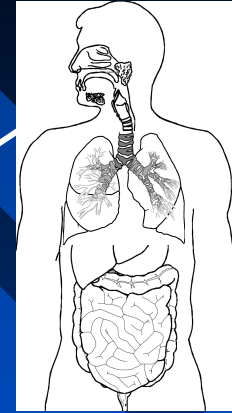
體外

+



嚥入

+



吸入

$$1. E_T = H_p(d) + \sum_j h(g)_{j,ing} \cdot I_{j,ing} + \sum_j h(g)_{j,inh} \cdot I_{j,inh}$$

2. 其他主管機關認可之方法

以度量或計算強穿輻射產生之個人等效劑量及攝入放射性核種產生之約定有效劑量之和表示。即體內劑量與體外劑量的一併考慮。

$$E_T = H_p(d) + \sum_j h(g)_{j,ing} \cdot I_{j,ing} + \sum_j h(g)_{j,inh} \cdot I_{j,inh}$$

在指定期間內由強穿輻射之體外曝露產生之個人等效劑量。(註：Hp(d) 為國際輻射單位暨度量委員會 (ICRU) 定義之作業量)。

$I_{j,ing}$ 及 $I_{j,inh}$ 分別為在同一期間內經由嚥入或吸入途徑攝入放射性核種之量。

$h(g)_{j,ing}$ 及 $h(g)_{j,inh}$ 分別為 g 年齡群組人員嚥入或吸入放射性核種 j 每單位攝入量產生之約定有效劑量

附表三之一 輻射工作人員吸入及嚥入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量， h (g)(西弗 / 貝克， $Sv \cdot Bq^{-1}$)

核種	物理半化期	吸入途徑			嚥入途徑		
		類別	f_1	h (g) _{1μm}}	h (g) _{5μm}}	f_1	h (g)

各種元素之化合物及用於計算輻射工作人員**嚥入**每單位攝入量放射性核種(氫子核與子核除外)所產生約定有效劑量對應之腸轉移因數 f_1

指攝入體內之放射性核種自胃腸道轉移至體液之量與攝入量之比值(附表三之二)

附表三之一 輻射工作人員吸入及嚥入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量， $h(g)$ (西弗 / 貝克， $Sv \cdot Bq^{-1}$)

核種	物理半化期	吸入途徑			嚥入途徑		
		類別	f_1	$h(g)_{1\mu m}$	$h(g)_{5\mu m}$	f_1	$h(g)$

各種元素之化合物之肺吸收類別，及用於計算輻射工作人員吸入每單位攝入量放射性核種（氦子核與子核除外）所產生約定有效劑量之腸轉移因數

f_1 。

指攝入體內之放射性核種自胃腸道轉移至體液之量與攝入量之比值（附表三之三）

附表三之一 輻射工作人員吸入及嚥入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量， h (g)(西弗 / 貝克， $Sv \cdot Bq^{-1}$)

核種	物理半化 期	吸入途徑				嚥入途徑	
		類別	f_1	h (g) _{$1\mu m$}	h (g) _{$5\mu m$}	f_1	h (g)
Co-60	5.27 年	M	0.1	9.6×10^{-9}	7.1×10^{-9}	0.1	3.4×10^{-9}
		S	0.05	2.9×10^{-8}	1.7×10^{-8}	0.05	2.5×10^{-9}
Cs-137	30 年	F	1.0	4.8×10^{-9}	6.7×10^{-9}	1.00	1.3×10^{-8}

公眾劑量評估－吸入

附表三之四 吸入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量， $h(g)$ (西弗 / 貝克， $Sv \cdot Bq^{-1}$)

核種	物理半化期	年齡 ≤ 1 歲		年齡	1-2歲	2-7歲	7-12歲	12-17歲	>17歲
		$f_1(g \leq 1 \text{ 歲})$	$h(g)$	$f_1(g > 1 \text{ 歲})$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$

公眾中之個人吸入每單位攝入量放射性核種（氫子核與子核除外）產生之約定有效劑量 $h(g)$ 。

分六個年齡群

公眾劑量評估－吸入

附表三之五 一般人之個人吸入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量， $h(g)$ (西弗 / 貝克， $Sv \cdot Bq^{-1}$)

核種	物理半化期	肺吸收類別	年齡 ≤ 1 歲		年齡 1-2 歲		2-7 歲		7-12 歲	12-17 歲	>17 歲
			$f_1(g \leq 1)$	$h(g)$	$f_1(g > 1)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$

公眾中之個人吸入每單位攝入量含放射性核種（氦子核與子核除外）之氣膠、氣體及蒸汽產生之約定有效劑量。

氣膠：指含液體或固體微粒之氣態懸浮體。

微粒：指單獨存在之微小固體或氣體粒子，懸浮於氣態介質中。

分六個年齡群

附表三整理

	內容
附表 3.1	輻射工作人員吸入及嚥入放射性核種產生之 約定有效劑量
附表 3.2	嚥入 放射性核種產生約定有效劑量對應 f_1
附表 3.3	吸入 放射性核種產生約定有效劑量對應 f_1
附表 3.4	一般人嚥入 產生之約定有效劑量
附表 3.5	一般人吸入 產生之約定有效劑量
附表 3.6	一般人吸入 氣膠、氣體及蒸汽吸收類別
附表 3.7	工作人員及 一般人 吸入可溶性或活性氣體產生之約定有效劑量
附表 3.8、3.9	氦子核及子核之攝入量及曝露量限度
附表 3.10	工作人員和 一般人 受惰性氣體之有效劑量率

- **A case study of radiation hazard**



**Being poisoned
by ingestion of
 Po^{210}**



Ingestion of 50 nano-gram or inhalation of 10 nano-gram of Po^{210} reaches the IC_{50} dose !

Theoretically, 1 gram of Po^{210} is sufficient to kill 100 million people!

附表三之四 一般人之個人嚥入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量， $h(g)$ (西弗/貝克, $Sv \cdot Bq^{-1}$)

核種	物理半化期	年齡 ≤ 1 歲		年齡 1-2 歲		2-7 歲		7-12 歲		12-17 歲		>17 歲	
		$f_1(g \leq 1 \text{ 歲})$	$h(g)$	$f_1(g > 1 \text{ 歲})$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$
α-(Polonium)													
Po-203	0.612 時	1.000	2.9×10^{-10}	0.500	2.4×10^{-10}	1.3×10^{-10}	8.5×10^{-11}	5.8×10^{-11}	4.6×10^{-11}				
Po-205	1.80 時	1.000	3.5×10^{-10}	0.500	2.8×10^{-10}	1.6×10^{-10}	1.1×10^{-10}	7.2×10^{-11}	5.8×10^{-11}				
Po-207	5.83 時	1.000	4.4×10^{-10}	0.500	5.7×10^{-10}	3.2×10^{-10}	2.1×10^{-10}	1.4×10^{-10}	1.1×10^{-10}				
Po-210	138 日	1.000	2.6×10^{-5}	0.500	8.8×10^{-6}	4.4×10^{-6}	2.6×10^{-6}	1.6×10^{-6}	1.2×10^{-6}				

1.2×10^{-6}

附表三之五 一般人之個人吸入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量, h (g)(西弗/貝克, Sv · Bq⁻¹)

核種	物理半化期	肺吸收類別	年齡 ≤ 1 歲		年齡	1-2 歲	2-7 歲	7-12 歲	12-17 歲	>17 歲
			f ₁ (g ≤ 1)	h (g)						
Bi-210m	3.00 × 10 ⁶ 年	M	0.100	3.9 × 10 ⁻⁷	0.050	3.0 × 10 ⁻⁷	1.9 × 10 ⁻⁷	1.3 × 10 ⁻⁷	1.1 × 10 ⁻⁷	9.3 × 10 ⁻⁸
		F	0.100	4.1 × 10 ⁻⁷	0.050	2.6 × 10 ⁻⁷	1.3 × 10 ⁻⁷	8.3 × 10 ⁻⁸	5.6 × 10 ⁻⁸	4.6 × 10 ⁻⁸
Bi-212	1.01 時	M	0.100	1.5 × 10 ⁻⁵	0.050	1.1 × 10 ⁻⁵	7.0 × 10 ⁻⁶	4.8 × 10 ⁻⁶	4.1 × 10 ⁻⁶	3.4 × 10 ⁻⁶
		F	0.100	6.5 × 10 ⁻⁸	0.050	4.5 × 10 ⁻⁸	2.1 × 10 ⁻⁸	1.5 × 10 ⁻⁸	1.0 × 10 ⁻⁸	9.1 × 10 ⁻⁹
Bi-213	0.761 時	M	0.100	1.6 × 10 ⁻⁷	0.050	1.1 × 10 ⁻⁷	6.0 × 10 ⁻⁸	4.4 × 10 ⁻⁸	3.8 × 10 ⁻⁸	3.1 × 10 ⁻⁸
		F	0.100	7.7 × 10 ⁻⁸	0.050	5.3 × 10 ⁻⁸	2.5 × 10 ⁻⁸	1.7 × 10 ⁻⁸	1.2 × 10 ⁻⁸	1.0 × 10 ⁻⁸
Bi-214	0.332 時	M	0.100	1.6 × 10 ⁻⁷	0.050	1.2 × 10 ⁻⁷	6.0 × 10 ⁻⁸	4.4 × 10 ⁻⁸	3.6 × 10 ⁻⁸	3.0 × 10 ⁻⁸
		F	0.100	5.0 × 10 ⁻⁸	0.050	3.5 × 10 ⁻⁸	1.6 × 10 ⁻⁸	1.1 × 10 ⁻⁸	8.2 × 10 ⁻⁹	7.1 × 10 ⁻⁹
		M	0.100	8.7 × 10 ⁻⁸	0.050	6.1 × 10 ⁻⁸	3.1 × 10 ⁻⁸	2.2 × 10 ⁻⁸	1.7 × 10 ⁻⁸	1.4 × 10 ⁻⁸
鈷(Polonium)										
Po-203	0.612 時	F	0.200	1.9 × 10 ⁻¹⁰	0.100	1.5 × 10 ⁻¹⁰	7.7 × 10 ⁻¹¹	4.7 × 10 ⁻¹¹	2.8 × 10 ⁻¹¹	2.3 × 10 ⁻¹¹
		M	0.200	2.7 × 10 ⁻¹⁰	0.100	2.1 × 10 ⁻¹⁰	1.1 × 10 ⁻¹⁰	6.7 × 10 ⁻¹¹	4.3 × 10 ⁻¹¹	3.5 × 10 ⁻¹¹
		S	0.020	2.8 × 10 ⁻¹⁰	0.010	2.2 × 10 ⁻¹⁰	1.1 × 10 ⁻¹⁰	7.0 × 10 ⁻¹¹	4.5 × 10 ⁻¹¹	3.6 × 10 ⁻¹¹
Po-205	1.80 時	F	0.200	2.6 × 10 ⁻¹⁰	0.100	2.1 × 10 ⁻¹⁰	1.1 × 10 ⁻¹⁰	6.6 × 10 ⁻¹¹	4.1 × 10 ⁻¹¹	3.3 × 10 ⁻¹¹
		M	0.200	4.0 × 10 ⁻¹⁰	0.100	3.1 × 10 ⁻¹⁰	1.7 × 10 ⁻¹⁰	1.1 × 10 ⁻¹⁰	8.1 × 10 ⁻¹¹	6.5 × 10 ⁻¹¹
		S	0.020	4.2 × 10 ⁻¹⁰	0.010	3.2 × 10 ⁻¹⁰	1.8 × 10 ⁻¹⁰	1.2 × 10 ⁻¹⁰	8.5 × 10 ⁻¹¹	6.9 × 10 ⁻¹¹
Po-207	5.83 時	F	0.200	4.8 × 10 ⁻¹⁰	0.100	4.0 × 10 ⁻¹⁰	2.1 × 10 ⁻¹⁰	1.3 × 10 ⁻¹⁰	7.3 × 10 ⁻¹¹	5.8 × 10 ⁻¹¹
		M	0.200	6.2 × 10 ⁻¹⁰	0.100	5.1 × 10 ⁻¹⁰	2.6 × 10 ⁻¹⁰	1.6 × 10 ⁻¹⁰	9.9 × 10 ⁻¹¹	7.8 × 10 ⁻¹¹
		S	0.020	6.6 × 10 ⁻¹⁰	0.010	5.3 × 10 ⁻¹⁰	2.7 × 10 ⁻¹⁰	1.7 × 10 ⁻¹⁰	1.0 × 10 ⁻¹⁰	8.2 × 10 ⁻¹¹
Po-210	138 日	F	0.200	7.4 × 10 ⁻⁶	0.100	4.8 × 10 ⁻⁶	2.2 × 10 ⁻⁶	1.3 × 10 ⁻⁶	7.7 × 10 ⁻⁷	6.1 × 10 ⁻⁷
		M	0.200	1.5 × 10 ⁻⁵	0.100	1.1 × 10 ⁻⁵	6.7 × 10 ⁻⁶	4.6 × 10 ⁻⁶	4.0 × 10 ⁻⁶	3.3 × 10 ⁻⁶
		S	0.020	1.8 × 10 ⁻⁵	0.010	1.4 × 10 ⁻⁵	8.6 × 10 ⁻⁶	5.9 × 10 ⁻⁶	5.1 × 10 ⁻⁶	4.3 × 10 ⁻⁶

4.3 × 10⁻⁶

4.3 × 10⁻⁶

一般人之個人嚥入及吸入每單位攝入是放射性核種之約定有效劑量(西弗/貝克； Sv/Bq)

$$(1) \text{ 嚥入 } h(g) = 1.2 \times 10^{-6} Sv/Bq$$

$$E = A \times h(g) = \lambda N \times h(g)$$

$$= \frac{\ln 2}{138 \times 24 \times 3600} \times \frac{50 \times 10^{-9}}{210} \times 6.023 \times 10^{23} \times 1.2 \times 10^{-6}$$
$$= 10 Sv$$

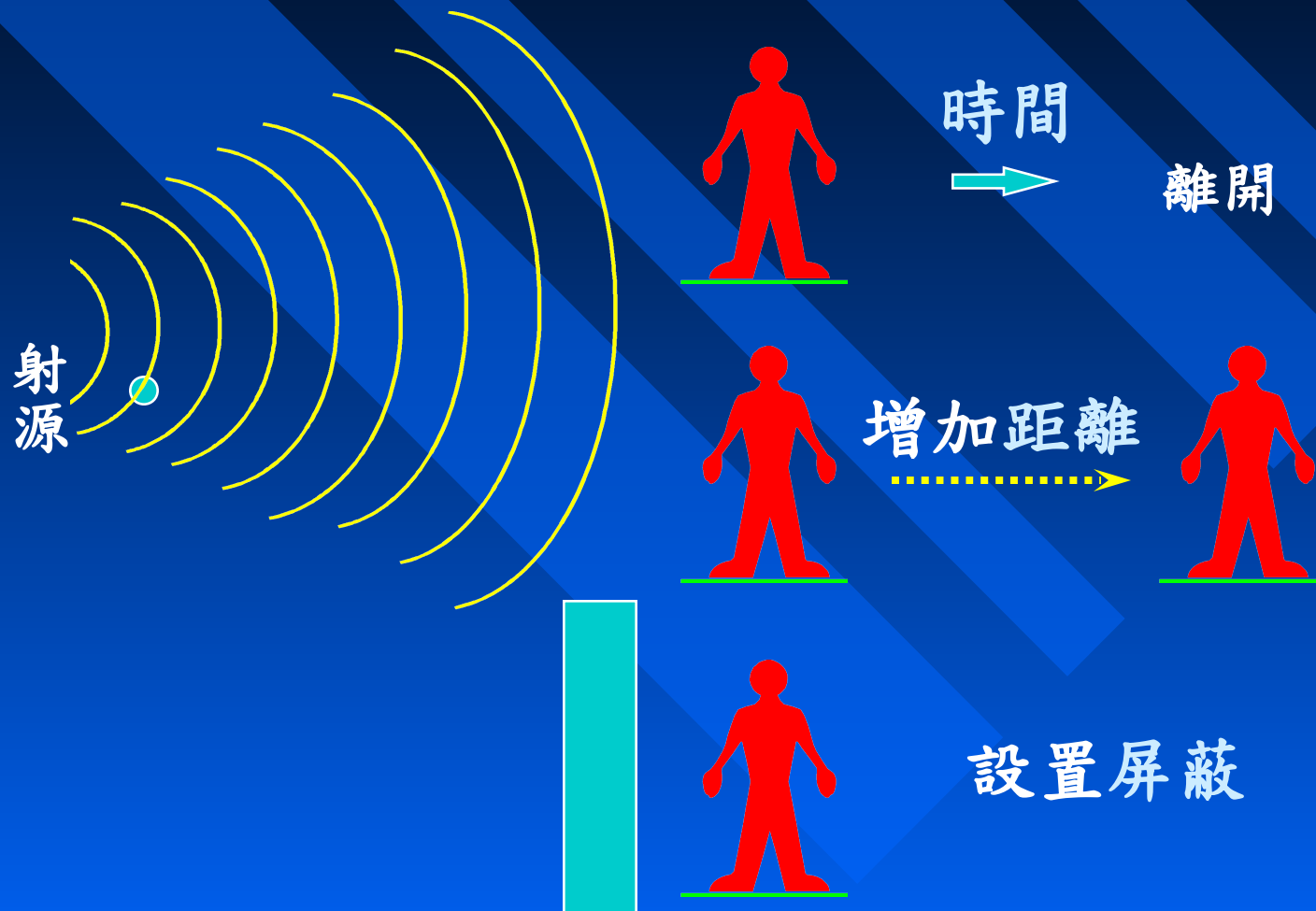
$$(2) \text{ 吸入 } h(g) = 4.3 \times 10^{-6} Sv/Bq$$

$$E = A \times h(g) = \lambda N \times h(g)$$

$$= \frac{\ln 2}{138 \times 24 \times 3600} \times \frac{10 \times 10^{-9}}{210} \times 6.023 \times 10^{23} \times 4.3 \times 10^{-6}$$
$$= 7.2 Sv$$

參、做好輻射安全方法

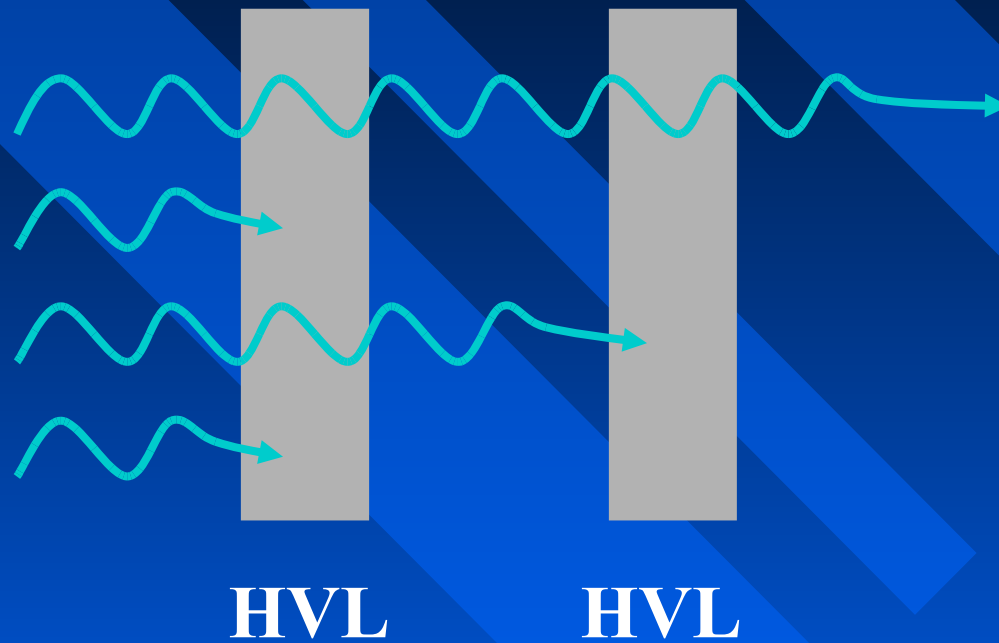
體外曝露的輻射防護原理



光子的屏蔽

- 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）。
- 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， $HVL(\text{鉛})=1.2\text{ cm}$ ， $HVL(\text{混凝土})=6.2\text{ cm}$ 。

半值層 (HVL)

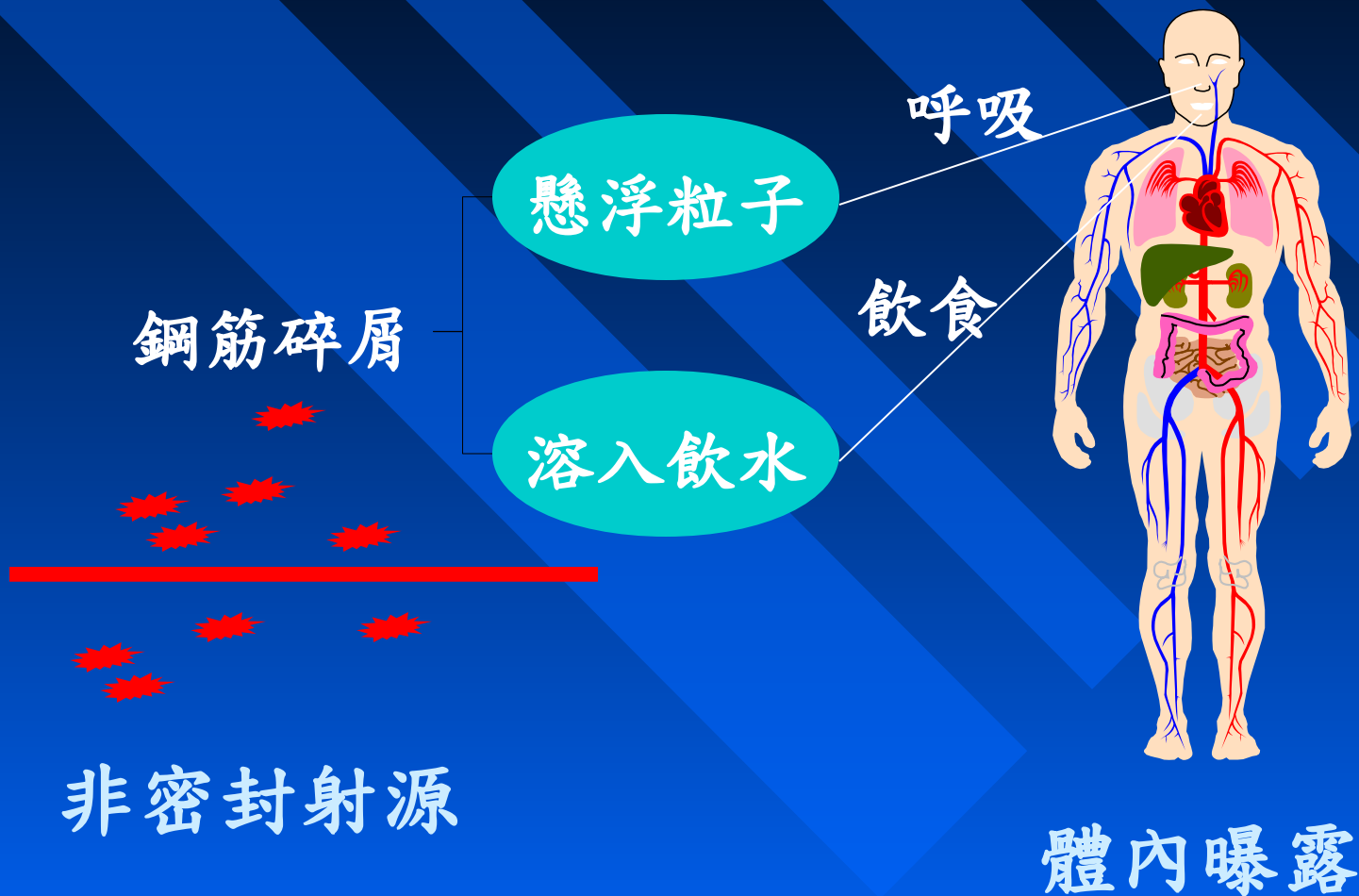


經過 N 個半值層，輻射強度衰減至原來的 $(1/2)^N$

各種屏蔽的半值層厚度

X 光 機	半值層(HVL)			
	峰值電壓 (kVp)	衰減物質		
		鉛(cm) HVL	混凝土(cm) HVL	鐵(cm) HVL
	50	0.006	0.43	
	70	0.017	0.84	
	100	0.027	1.6	
	125	0.028	2.0	
	150	0.030	2.24	
	200	0.052	2.5	
	250	0.088	2.8	
	300	0.147	3.1	
	400	0.25	3.3	
	500	0.36	3.6	
	1000	0.79	4.4	
	2000	1.25	6.4	
	3000	1.45	7.4	
	4000	1.6	8.8	2.7
	6000	1.69	10.4	3.0
	8000	1.69	11.4	3.1
	10000	1.66	11.9	3.2
射 源	銻 137	0.65	4.8	1.6
	鈷 60	1.2	6.2	2.1
	鐳	1.66	6.9	2.2

體內曝露



體內輻射防護的原則

- **阻絕**：阻絕放射性物質經由飲食、呼吸、皮膚吸收、傷口侵入進入人體內的途徑。因此，個人體內曝露的防護方法就是避免在污染地區逗留，避免食入、減少吸入、增加排泄。
- **稀釋**：對受輻射污染的空氣或水以未受污染的空氣或水加以大量稀釋，使其達到可以排至大氣或水域中之排放規定。
- **分散**：對受輻射污染的物質藉由空氣或水域加以分散。
- **除污**：加強污染管制及除污的工作，利用各種除污方法對受輻射污染的人體或物體進行除污，使其所附著的放射性污染減少。

體內曝露的輻射防護原理

■ 隔離射源

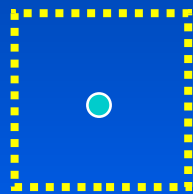
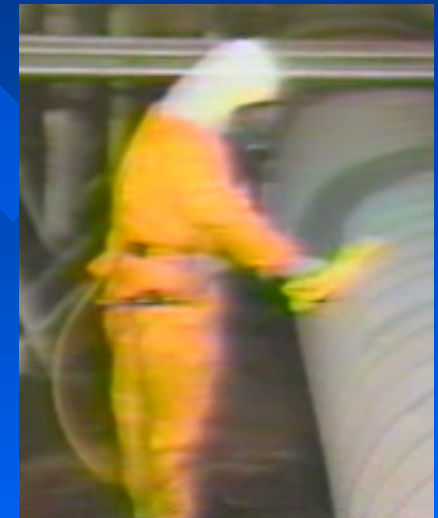
- 將射源密封或置於密閉櫃中

■ 環境保護

- 環境除污、廢料處理

■ 人員保護

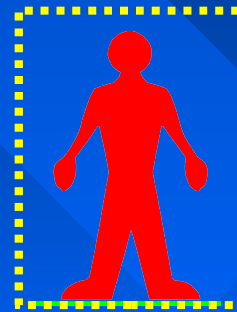
- 防護衣物、呼吸器



射源隔離

空氣
水
動植物
.

環境保護

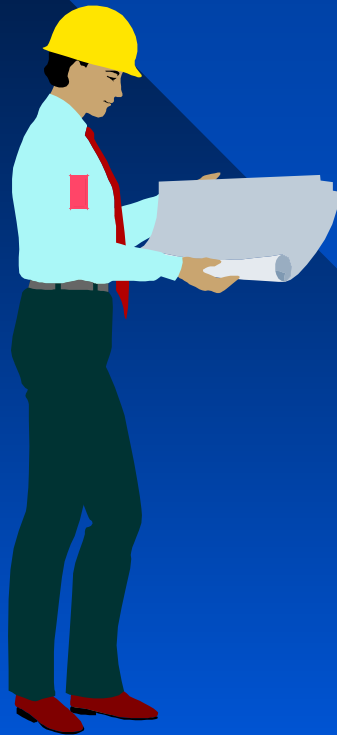


人員隔離

輻射偵測的必要性

- 由於我們的感覺器官對輻射失效，所以必須**依靠儀器來度量輻射**。
- 輻射對人體的危害，與**輻射的種類、能量、劑量**等都有關。故度量輻射時，必須考量這些因素。
- 輻射偵測分為**劑量監測與污染監測**。

各種人員劑量監測器



1. 熱發光人員劑量計
(長期人員劑量監測)
2. 直讀式劑量筆
(短期人員劑量監測，無警報功能)
3. 警報型劑量計
(短期人員劑量監測，有警報功能)

人員體表放射性污染監測



污染監測器，可度量

1. 衣物污染
(單位面積上的污染活度)
2. 皮膚污染
(單位面積上的污染活度)

放射性活度的單位為貝克 (Bq)

污染監測器的單位為計數率 (cpm)

人員體內放射性污染監測



全身計測



尿液分析

可利用污染監測結果評估體內劑量

結論

- 雖然輻射防護乃一專業，工作場所的輻射防護多由專業人員負責，但每一工作人員、甚至每一國民，都應具備基本的輻射防護知識，以保護自己的健康。
- 輻射防護的法源依據，為我國游離輻射防護法及游離輻射防護安全標準。輻射作業場所的主管，應訂定其輻射防護計畫，報請原子能委員會核定後實施。

謝謝！請多指教！

☎ 連絡電話：0922146339

☎ 張秩隆