

中山醫學大學附設醫院 115 年度「18 小時輻射安全訓練課程」第 4 期					
日期	星期	時間	時數	課程	講座
115/10/03	六	08:30-12:30	4	基礎輻射	宋大崙輻防師
		13:00-18:00	5	游離輻射防護法規	陳厚語輻防師
115/09/20	日	08:30-11:30	3	輻射防護	姚學華輻防師
		11:30-12:30	3	輻射應用與防護	姚學華輻防師
		13:00-15:00			
		15:00-18:00	3	輻射防護實習或見習	陳厚語輻防師
課程後即舉辦結訓測驗					

訓練課程說明：

全部課程時數符合以訓練取代輻射安全證書者，發給結訓證明。

18小時輻射安全訓練課程及時數規定：

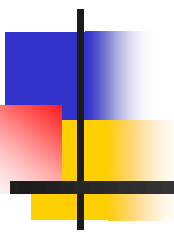
輻射安全證書需接受之訓練課程及時數（本項訓練實施期間最長不得超過一個月，其上課總時數不得少於一十八小時）	
訓練課程	時數
基礎輻射	四小時以上
輻射防護	三小時以上
輻射應用及防護	三小時以上
游離輻射防護法規	五小時以上
輻射防護實習或見習	三小時以上

主辦單位：中山醫學大學附設醫院家庭暨社區醫學部

訓練單位：衛聖有限公司 核安會輻射訓練業者認可 輻訓字第 035 號

輻射安全證書18小時訓練課程

基礎輻射



宋大崙教授

學歷：美國密蘇里州立大學-哥倫比亞分校-核工博士

職稱：龍華科技大學化工及材料系 教授

宋大崙 教授

龍華科技大學 化工與材料工程系(所)

美國密蘇里大學 哥倫比亞分校 核工博士

國立清華大學 核工學士

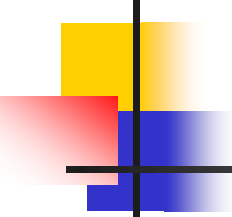
經歷

核能科技協進會 執行長

原子能委員會 技士

輻射防護協會 研究員

科技政策研究中心 副研員



內容大綱

- 基礎輻射物理
 - 原子與原子核
 - 核反應(放射反應)
 - 活度，半化期
- 輻射與物質作用
 - 直接游離及間接游離
 - 荷電粒子
 - 光子
 - 中子

基礎輻射物理-何謂輻射

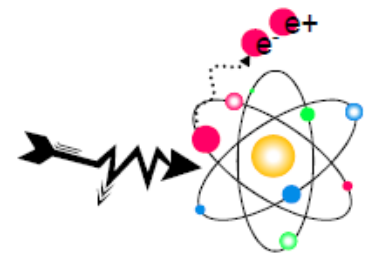
- 輻射是一種能量的傳播，高速粒子或電磁波
- 輻射在自然界是無所不在
 - 可看到的：如陽光、燈光
 - 可感覺到的：如微波、熱
 - 不可看到與感覺到的：無線電、 α 、 β 、 γ 、X射線
- 不可看到與感覺到的輻射，必須藉助輻射偵檢儀器才能察覺



基礎輻射物理

輻射(Radiation) 分類

- 依「能量高低」，輻射可分為：
 - 非游離輻射：能量低，無法使物質產生游離作用。
 - 紫外光、可見光、紅外線、微波、無線電、電力傳輸
 - 游離輻射：能量較高，可使物質產生游離作用。
- 依照特性來分
 - 電磁輻射：X射線、加馬(γ)射線
 - 粒子輻射：
 - 荷電粒子：阿伐(α)粒子、貝他(β)粒子、質子(p)
 - 非荷電粒子：中子(n)

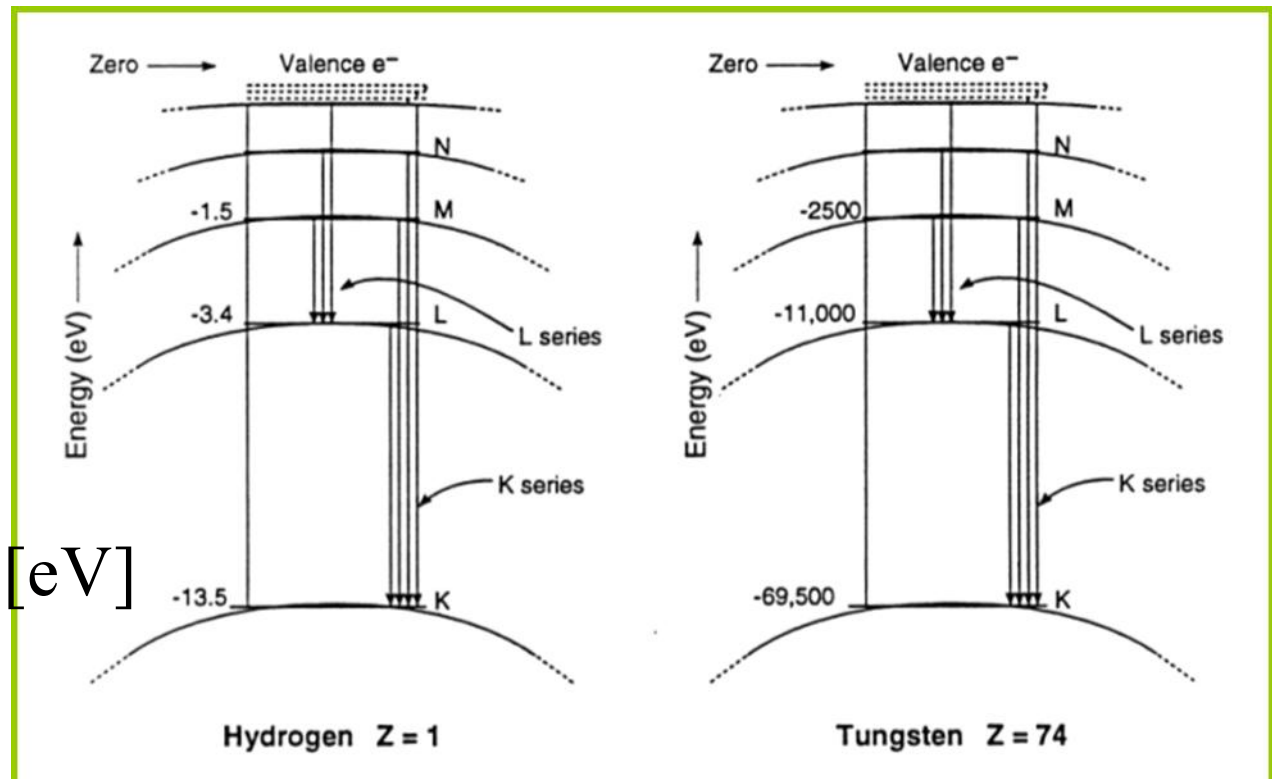


游離輻射(1)

游離能(Ionization energy, EI)

- 指將一個電子從孤立的原子、離子或分子移至無限遠處所需的能量。

$$E_{I,H} = -\frac{13.6 \cdot Z^2}{n^2} [\text{eV}]$$



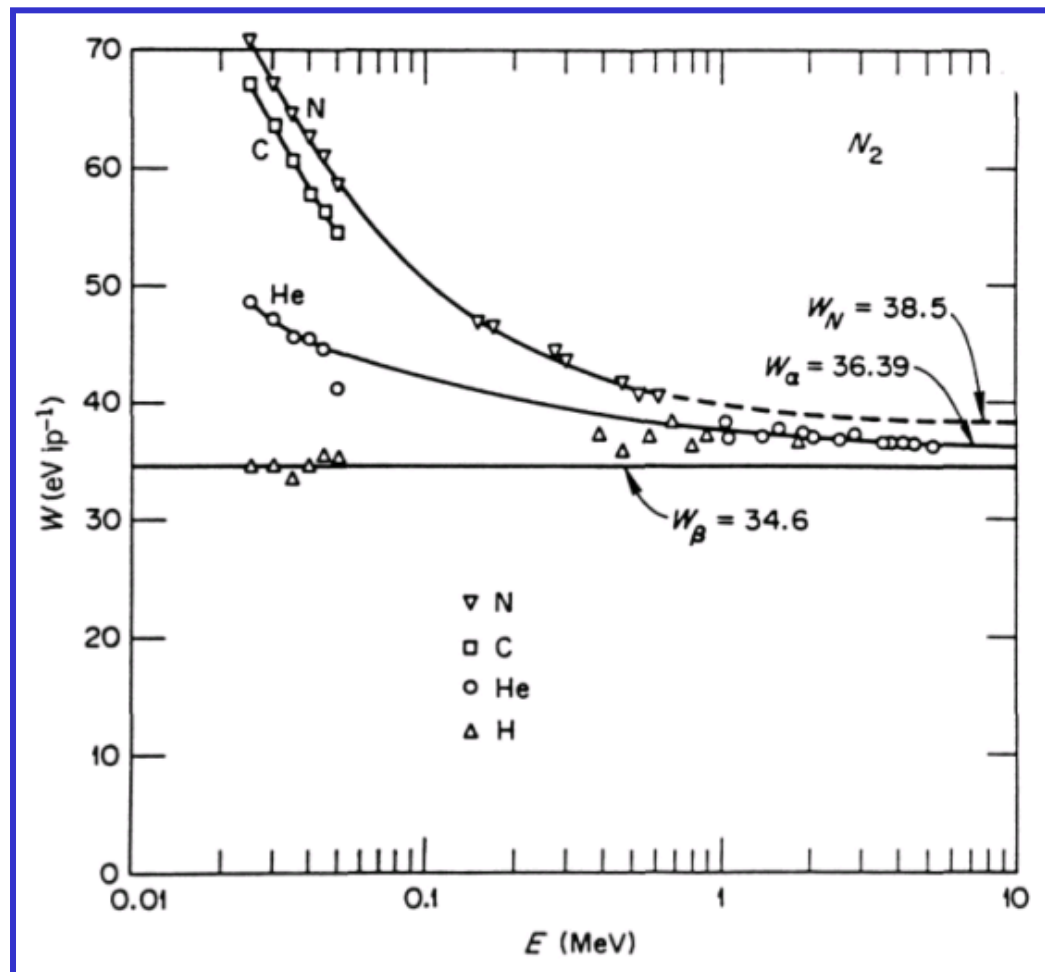
游離輻射(2)

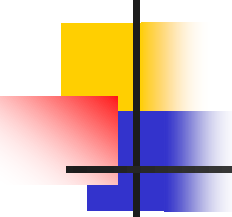
原子序	元素	Ionization Energy (eV)									
		1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th
1	H	13.6									
2	He	24.6	54.4								
3	Li	5.4	75.7	122.5							
4	Be	9.3	18.2	153.9	217.8						
5	B	8.3	25.2	37.9	259.4	340.3					
6	C	11.3	24.4	47.9	64.5	392.2	490.1				
7	N	14.5	29.6	47.5	77.5	97.9	552.2	667.1			
8	O	13.6	35.1	54.9	77.4	113.9	138.1	739.4	871.5		
9	F	17.4	35.0	62.7	87.2	114.3	157.2	185.2	954.1	1103.3	
10	Ne	21.6	41.0	63.5	97.1	126.2	158.0	207.3	239.1	1196.0	1362.4

越內層電子,
 E_I 越大

游離輻射(3)

空氣游離能=34eV



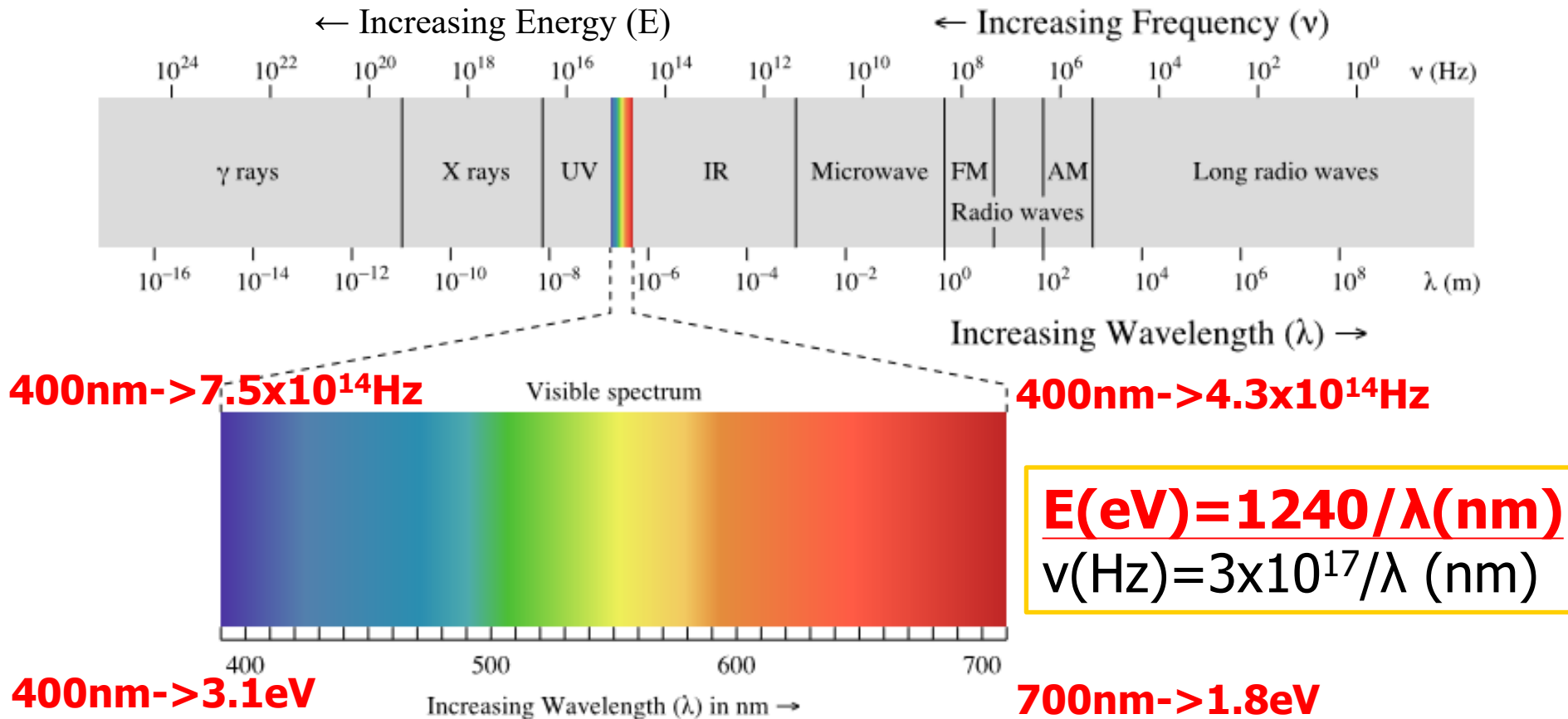


基礎輻射物理-能量複習

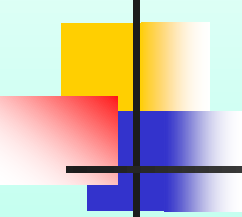
- 動能： $0.5 mv^2$ (m為質量，v為速度)
- 位能： mgh (m為質量，g為重力加速度，h為高度)
- 動能與位能的單位：
 $1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} = \underline{1 \text{ J}}$, $1 \text{ g cm}^2 \text{ s}^{-2} = 1 \text{ erg}$
- 熱能：1卡(calorie) = 1 g水升高 1°C
- $1 \text{ calorie} = \underline{4.18 \text{ J}}$
- 電位能：電荷經過電位差，所獲得之能量：
- 電子伏特(eV)：1電子經過1V電位差所獲得的能量。
- $1 \text{ eV} = \underline{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}$ 。
- 光能：光具有的能量，與頻率成正比 (eV)

光的能量、頻率與波長

$$E=hf \quad , \quad h(\text{普朗克常數}) \quad f(\text{頻率})$$



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/EM_spectrum.svg



游離輻射

- 下列何者不是游離輻射？ (1)無線電波 (2) X 光 (3) 中子射線 (4) 電子射線
- X 射線的頻率較行動電話電磁波頻率？ (1)高 (2) 低 (3) 相等 (4) 無法相比
- 100 keV 的光子，請問其波長為多少公尺？
- (1) 1.24 (2) 1.24×10^{-2} (3) 1.24×10^{-3} (4) 1.24×10^{-11}
- $E(\text{eV}) = 1240 / \lambda(\text{nm})$

基礎輻射物理

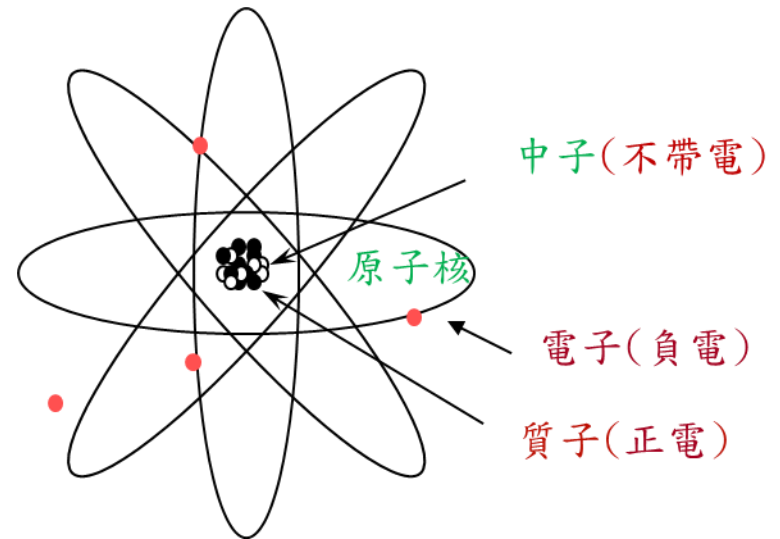
原子與原子核 - 原子結構(1)

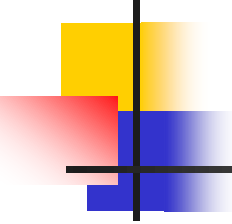
● 原子結構

- 原子核(nuclei) = $p^+ + n$
- 核外電子： e^-
- 尺寸： 10^{-10} m (Å)

● 原子特性

- 電中性-核外之電子數目與質子數目相同，故原子呈電中性。
- 行星模型 → 軌域模型
- 原子核極小(10^{-15} m, fm) 佔絕大部分質量





原子與原子核 - 原子結構(2)

■ 組成原子核之基本粒子有

■ 質子、中子，稱為核子。

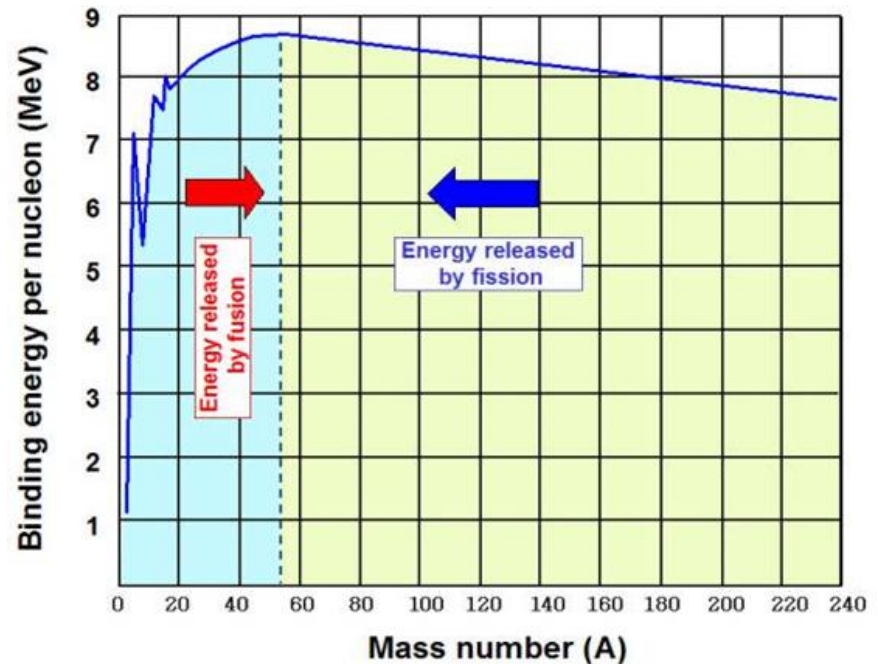
■ 核子間聚合力（或稱核力）

■ 由於質子間因有庫倫斥力，不可能會形成原子核，但加入中子後，強大的核子間聚合力（或稱核力）克服了庫倫斥力，形成原子核。

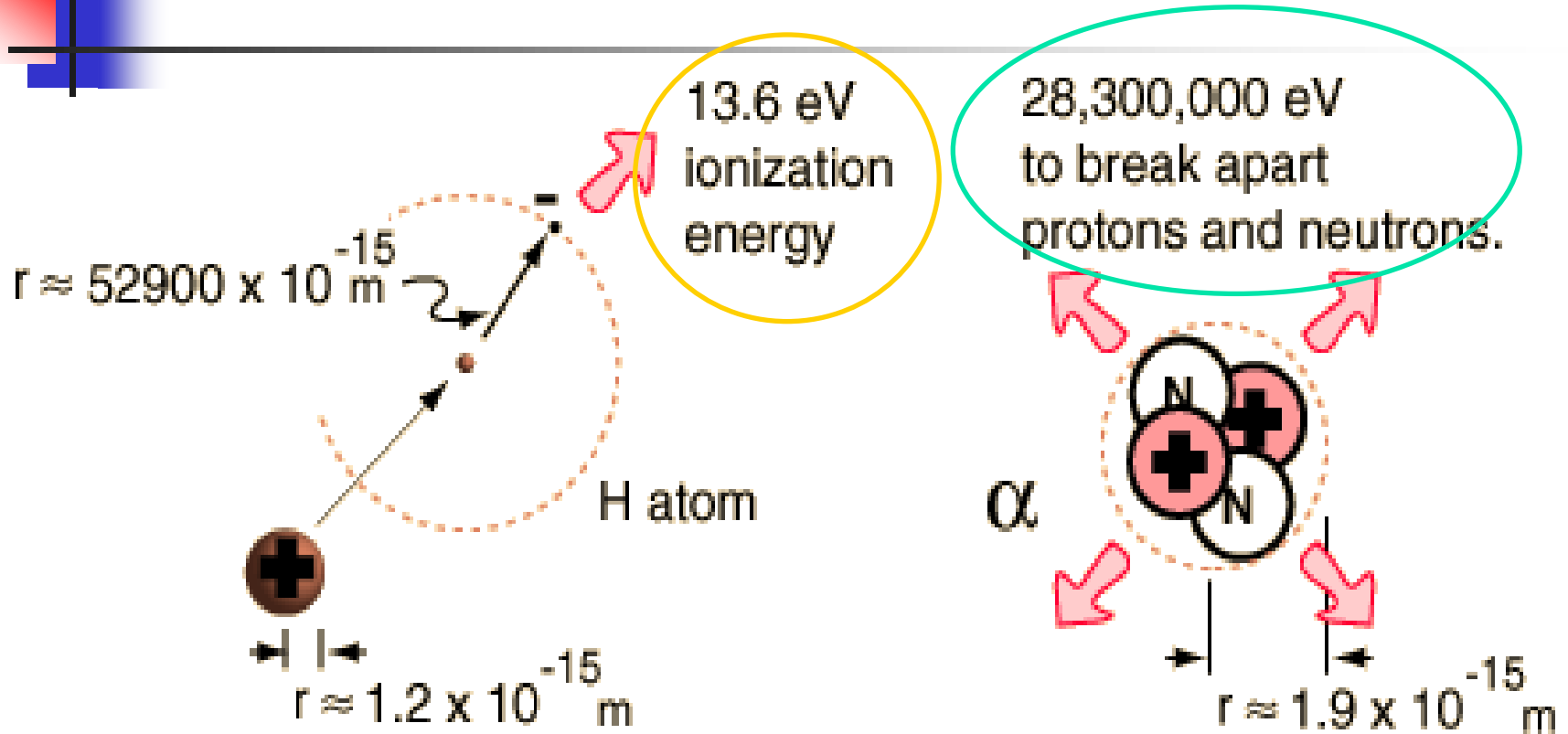
■ 原子核結合能 (binding energy)

原子核結合能 (binding energy)

- 克服原子核內質子庫倫斥力
使原子核穩定存在所需能量
- 強交互作用力
- 作用距離極短
， $\propto 1/r^4$



電子游離能與核子結合能比較



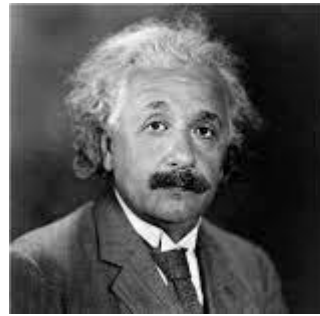
Comparison of atomic and nuclear scales and binding energy

電子與核子的平均束縛能

元素	*K _α (keV)	能量(keV)	核種	能量(MeV)
₁ H	-	0.014	⁴ He	7.1
₂₆ Fe	6.40	7.11	²⁴ Na	8.4
₄₂ Mo	17.5	20.0	⁵⁶ Fe	8.8
₇₄ W	59.3	69.5	⁹³ Sr	8.7
₈₂ Pb	75.0	88.0	¹⁴⁰ Xe	8.4
₉₂ U	98.4	116	²³⁶ U	7.6

*L層電子補進K電子洞所釋出的光稱為K_α

質能互換

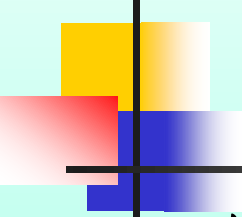


Albert
Einstein
(1879~1955)

■ 質量與能量相互轉換

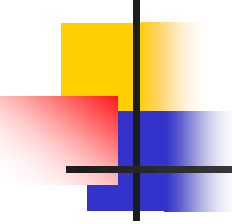
■ **$E = mc^2$**

- 1個原子質量(amu)的質量可轉換為能量 =
 $[1.66 \times 10^{-27}] \text{ (kg)} \times [3 \times 10^8]^2 \text{ (m/s)}^2 = \underline{\underline{931.5 \text{ MeV}}}$
- $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$; $1 \text{ MeV} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ J}$
- 電子質量 $= 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
- 電子能量 $= 9.11 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2 = \underline{\underline{0.511 \text{ MeV}}}$



質能互換

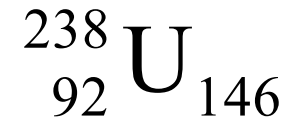
- 一個電子的靜止質量全部轉化為能量，相當於多少 keV？
(110-2輻安測驗)
(1) 511 (2) 662 (3) 931.5 (4) 1460
- 一個原子質量單元(atomic mass unit, amu)約相當於多少能量？
(110-2輻安測驗)
(1) 511 keV (2) 931.5 keV (3) 1.022 MeV (4) 931.5 MeV
- 如果質量為 m ，其可轉化之總能量為 E ，而光速為 c ，則質能互換公式為？ (1) $E = m^2 c$ (2) $E = mc^2$ (3) $E = m^2 / c$ (4) $E = c^2 / m$ (111-1輻安測驗)



原子及原子核基本參數

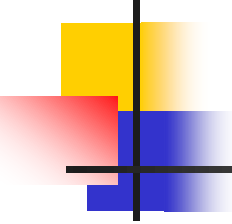
名稱	符號	質量		電量
		kg	(amu)	庫侖
質子	p	1.6725×10^{-27}	$\sim 1(1.0073)$	1.602×10^{-19}
中子	n	1.6747×10^{-27}	$\sim 1(1.0087)$	0
電子	e ⁻	9.1089×10^{-31}	$\sim \mathbf{1/1840}$ (0.00055)	-1.602×10^{-19}

核種表示方法及同位素



● 重要參數

- 原子序(atomic order, Z) = 質子數
- 質量數(mass No., A) = 質子數+中子數(N)
- 同位素(isotope): 質子數(Z)相同(${}^{60}\text{Co}$ vs. ${}^{58}\text{Co}$)
- 同中子素(isotone): 中子數(N)相同(${}^{54}_{25}\text{Mn}$ vs. ${}^{56}_{27}\text{Co}$)
- 同重素(isobar): 質量數(A)相同 (${}^{40}\text{K}$ vs. ${}^{40}\text{Ar}$)
- 同質異構素 (isomer): 相同核種、不同能態 (${}^{99\text{m}}\text{Tc}$ vs. ${}^{99}\text{Tc}$)



原子質量

■ 原子的質量單位為 amu

- amu (atomic mass unit; 原子質量單位)

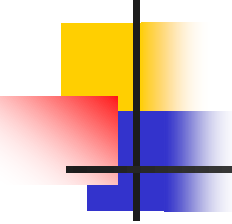
- IUPAC定義¹²C原子的質量為12.000000 amu

- 1 amu = ¹²C原子質量的1/12。

- 1 amu = 1.66 × 10⁻²⁷ kg

- 1電子質量 = 1/1,836 amu = 9.11 × 10⁻³¹ kg

■ 其他元素的原子質量以質譜儀測量並以¹²C原子質量為標準的相對比值。



核子反應

■ 原子核的穩定性

- 原子核因質子或中子數超過穩定所需，或部分核子所處能態過高，藉由蛻變過程，釋出多餘粒子或能量，使原子核成為較穩定的狀態。
- 不穩定而自行放出輻射的核種，稱為放射性核種。如 ^{60}Co 、 ^{85}Kr 等。

核子反應

■ 輕核： $n/p = 1$ 最穩定

■ 若 $n/p > 1 \rightarrow \beta^-$ 衰變

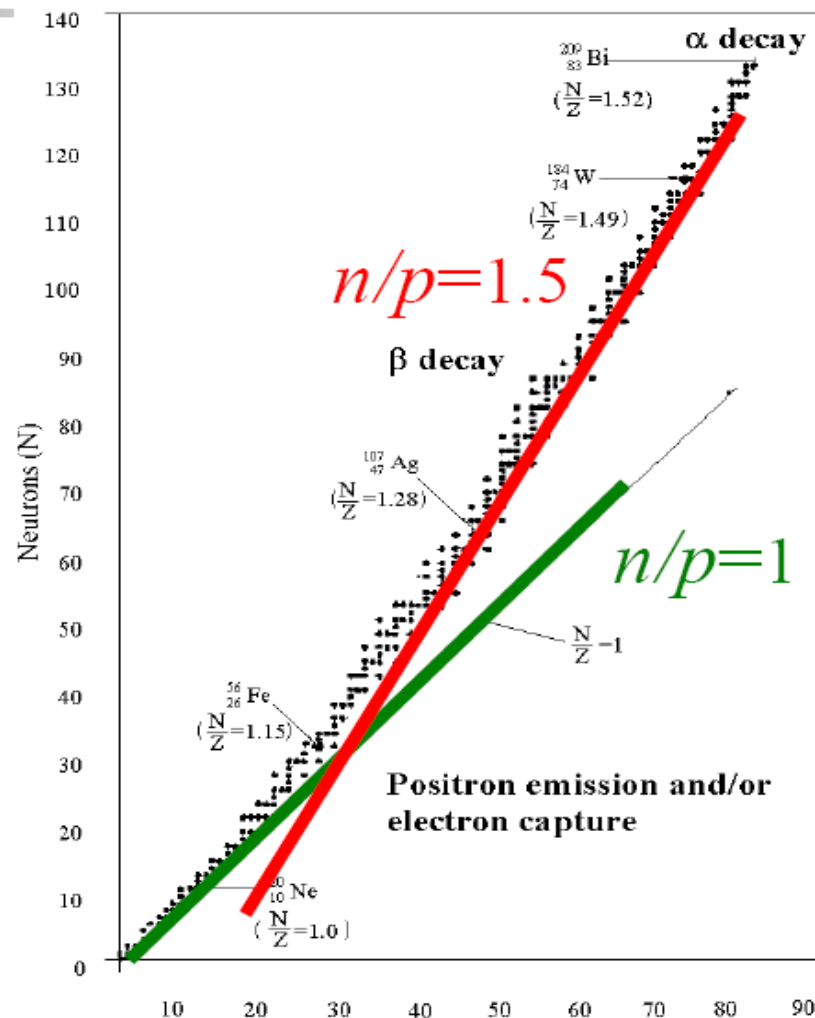
■ 若 $n/p < 1 \rightarrow \beta^+$ 衰變

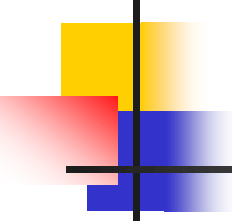
或 EC

■ 重核： $n/p = 1.5$ 最穩定

■ 若 $n/p < 1.5 \rightarrow \alpha$ 衰變

■ 若 $n/p \gg 1.5 \rightarrow$ fission





核子反應

輕核



重核

■ 核融合 (Fusion)

■ 衰變 (Decay)

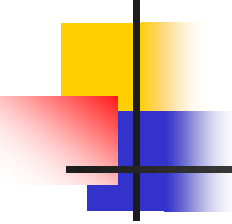
■ β^+ 衰變

■ EC

■ β^- 衰變

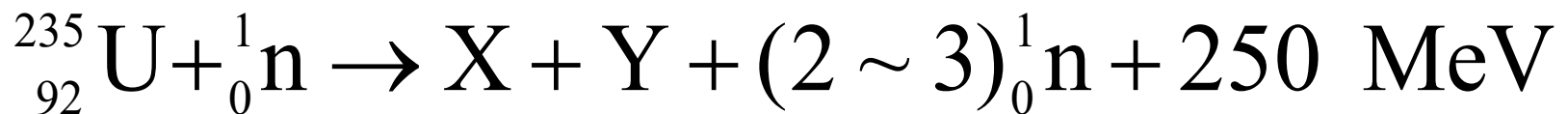
■ α 衰變

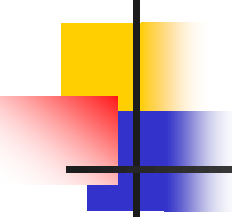
■ 核分裂 (Fission)



核分裂

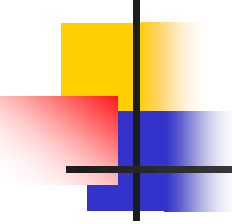
- 核分裂：某些重核[原子序 >90 ，尤其是超鈾元素 (TRU)]因質子數較多，庫倫斥力大於核力，整個原子核會自發或受中子誘發，分裂成碎片並釋出大量能量及中子。
 - 自發分裂：如 ^{252}Cf
 - 中子誘發分裂：如 ^{235}U 、 ^{232}Th 、 ^{234}U 等
- 核能發電是使用中子誘發分裂取得熱能。





核融合

- 輕原子(如氫、重氫、氘及氦等)在某些條件下可熔合為一較重之原子，作用過程中一部份質量轉變為能量釋放出。
- 核熔合之產物為穩定的氦原子，沒有放射廢料問題。 $^2\text{H} + ^2\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + \text{能量}$
- 太陽是以核熔合產生能量，通常核熔合須要一億度之高溫才可發生。(氫彈)
- 核熔合之核能發電，因尚需克服高溫問題，仍在實驗階段。

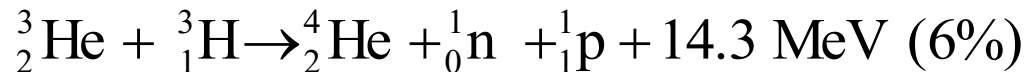
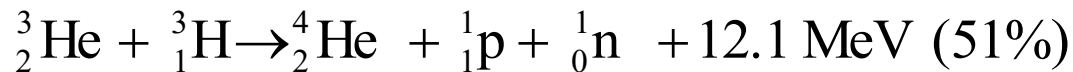


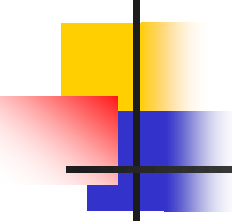
核融合

■ 核融合 (只發生於輕核)



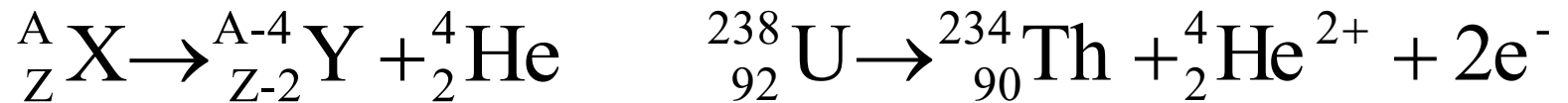
■ He-3最具發展潛力





α 衰變

- 發生在重核($Z > 82$,) 質子與中子數比太低 ($N/P \sim 1.5$)

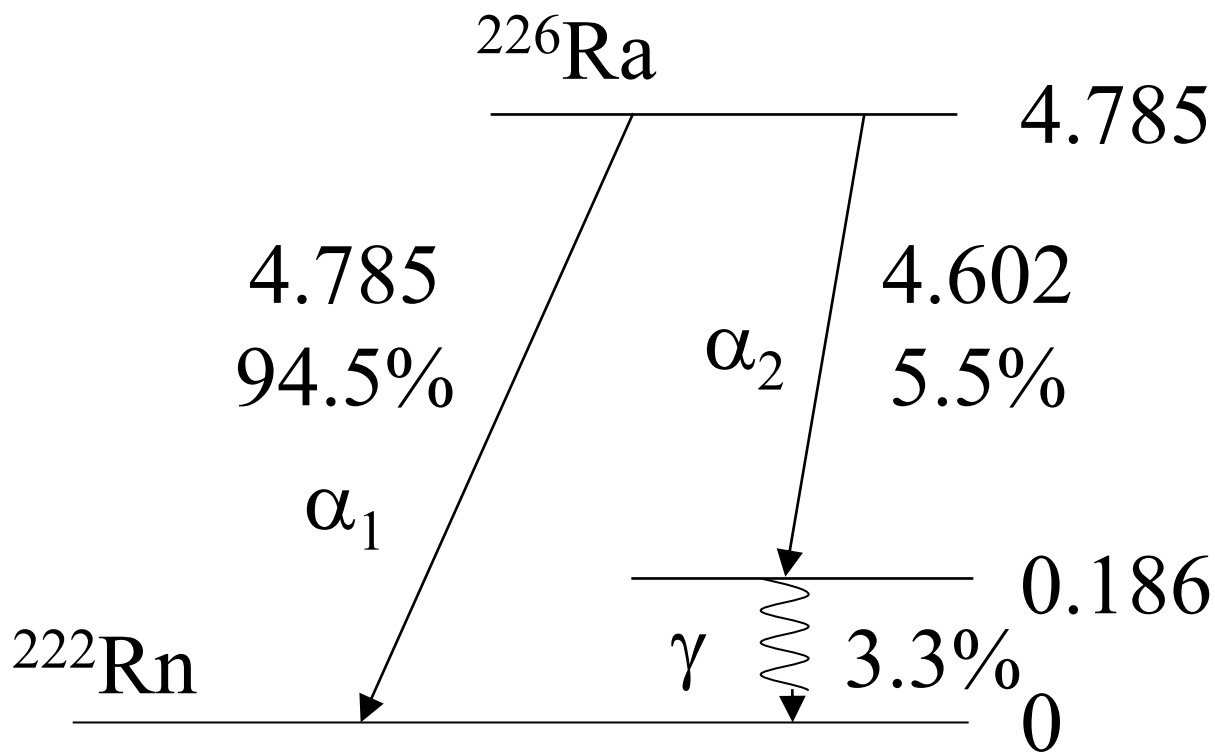


- 每次衰變產生單一能量氦核(阿伐粒子), 能量平均集中在4-8 MeV, 以5-6 MeV最多

例外： ${}^{147}_{62} \text{Sm}, E_{\alpha} = 2.18 \text{ MeV}$

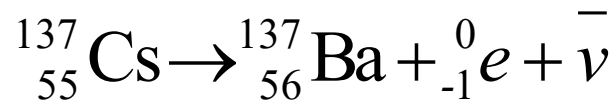
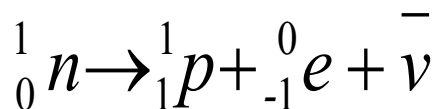
核種衰變圖

- 原子序 >83 、 α 衰變



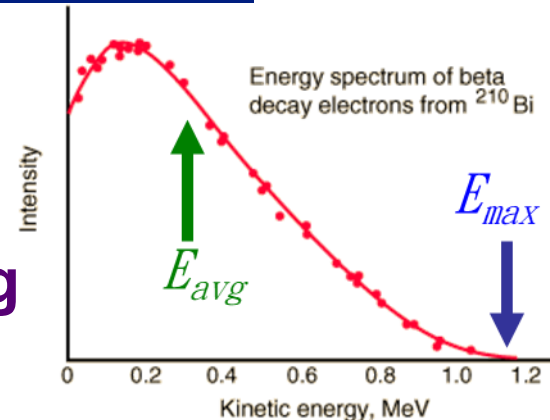
β⁻衰變

- 通常發生於輕核，中子太多→1個中子轉為1個質子，
 - 子核較母核多1個質子，少1個中子而質量數不變



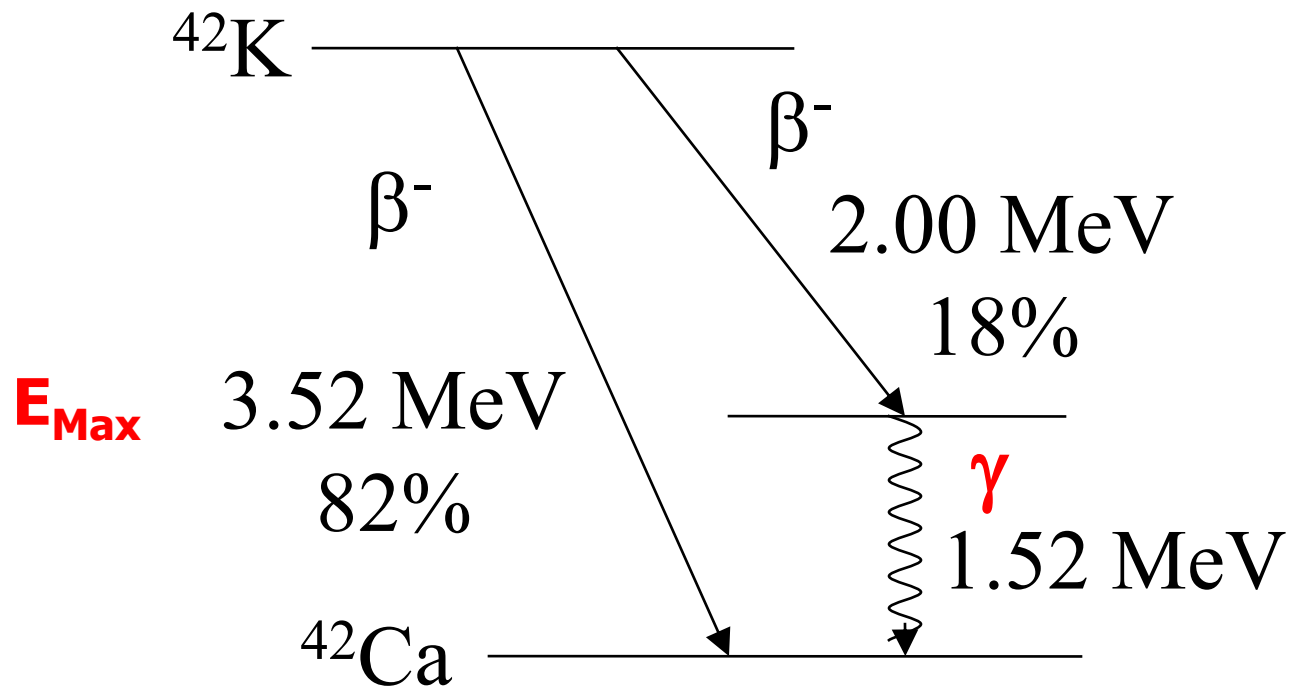
- β⁻蛻變原子核發射電子(e⁻)及 反微中子($\bar{\nu}$)

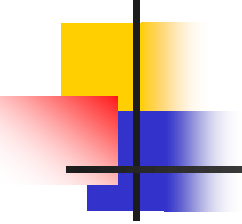
- 2個粒子在核蛻變之瞬間發射
- 反微中子沒有電荷，幾乎沒有質量
- β衰變為連續能譜，有E_{max}與E_{avg}
- E_{avg}大約為E_{max}的1/3



核種衰變圖

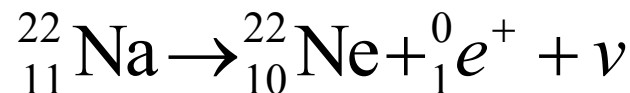
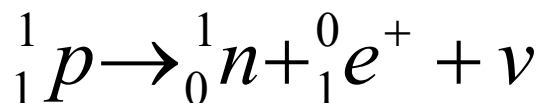
- 中子比例過高、 β^- 衰變





β^+ 衰變

- 原子核中子數太少，1個質子衰變為1個中子及1個**正電子**，此正電子會自原子核放射出來，即為 β^+ 粒子。



- 子核較母核多1個中子少1個質子，質量數不變

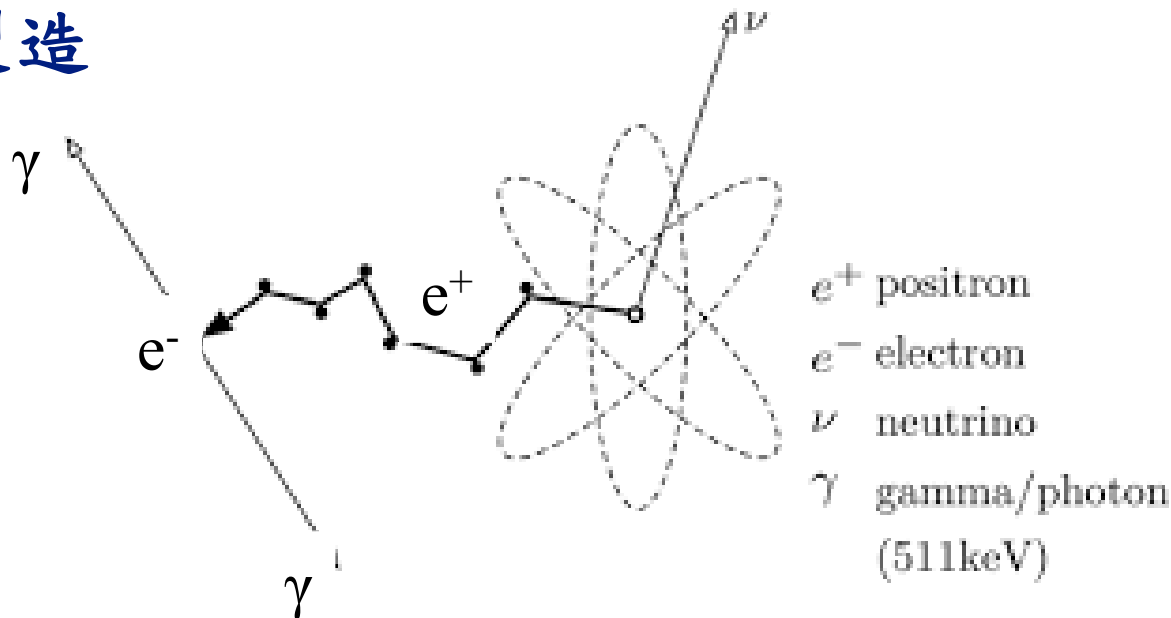


β^+ 衰變

- e^+ 不穩定 + $e^- \rightarrow$ 互毀

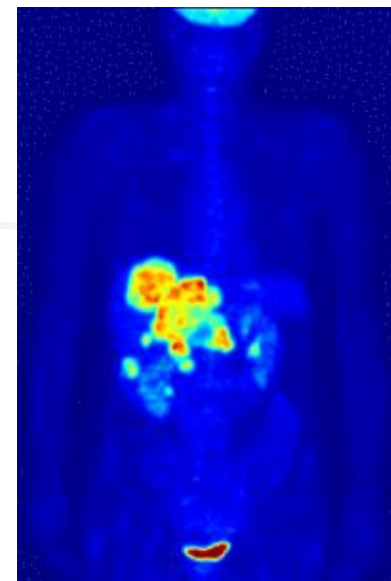
(annihilation)，產生兩個方向相反且能量均為 0.511MeV 的加馬射線。

- 可用加速器製造

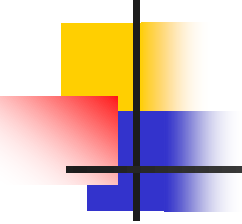


β^+ 衰變 核種

核種	半化期 (分鐘)	$E_{\max}$ (MeV)	β^+ 豐度 (%)	製備 <u>迴旋加速器</u>
^{11}C	20.4	0.97	99	$^{10}\text{B}(\text{d},\text{n})^{11}\text{C}$ $^{11}\text{B}(\text{p},\text{n})^{11}\text{C}$ $^{14}\text{N}(\text{p},\alpha)^{11}\text{C}$
^{13}N	9.96	1.19	100	$^{12}\text{C}(\text{d},\text{n})^{13}\text{N}$ $^{16}\text{O}(\text{p},\alpha)^{13}\text{N}$ $^{13}\text{C}(\text{p},\text{n})^{13}\text{N}$
^{15}O	2.07	1.7	100	$^{14}\text{N}(\text{d},\text{n})^{15}\text{O}$ $^{15}\text{N}(\text{p},\text{n})^{15}\text{O}$
^{18}F	109.7	0.64	97	$^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ $^{20}\text{Ne}(\text{d},\alpha)^{18}\text{F}$
^{77}Kr	74.7	1.87	82	$^{79}\text{Br}(\text{p},3\text{n})^{77}\text{Kr}$ $^{76}\text{Se}(^3\text{He},2\text{n})^{77}\text{Kr}$

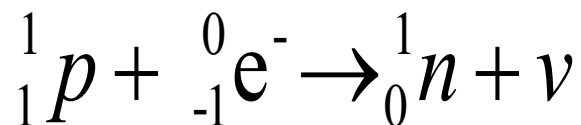


^{18}F -FDG
PET



電子捕獲

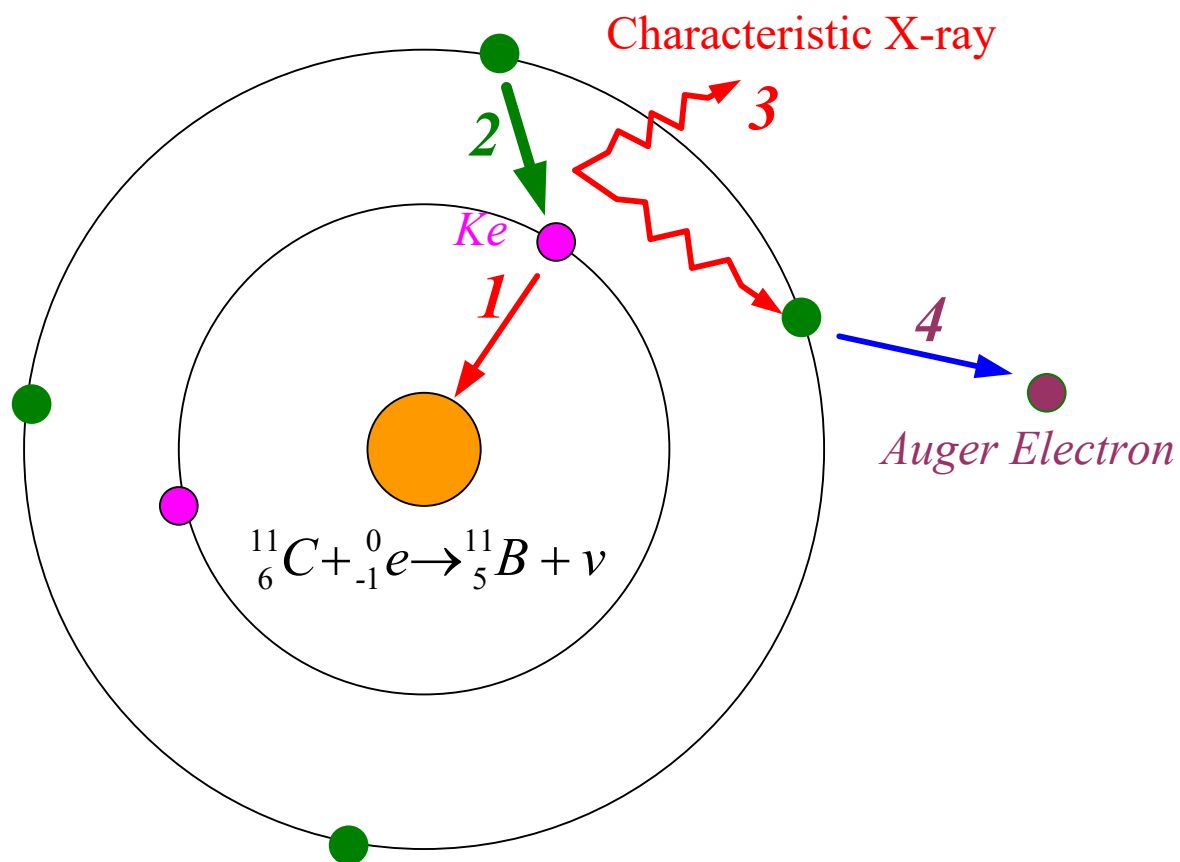
- 電子捕獲(Electron Capture, EC)通常發生於輕核，為平衡質子過多的情況，**原子核把外層價電子抓進來**，與核內質子作用產生中子(類似 β^+)



■ 為 β^+ 衰變的一種競爭作用

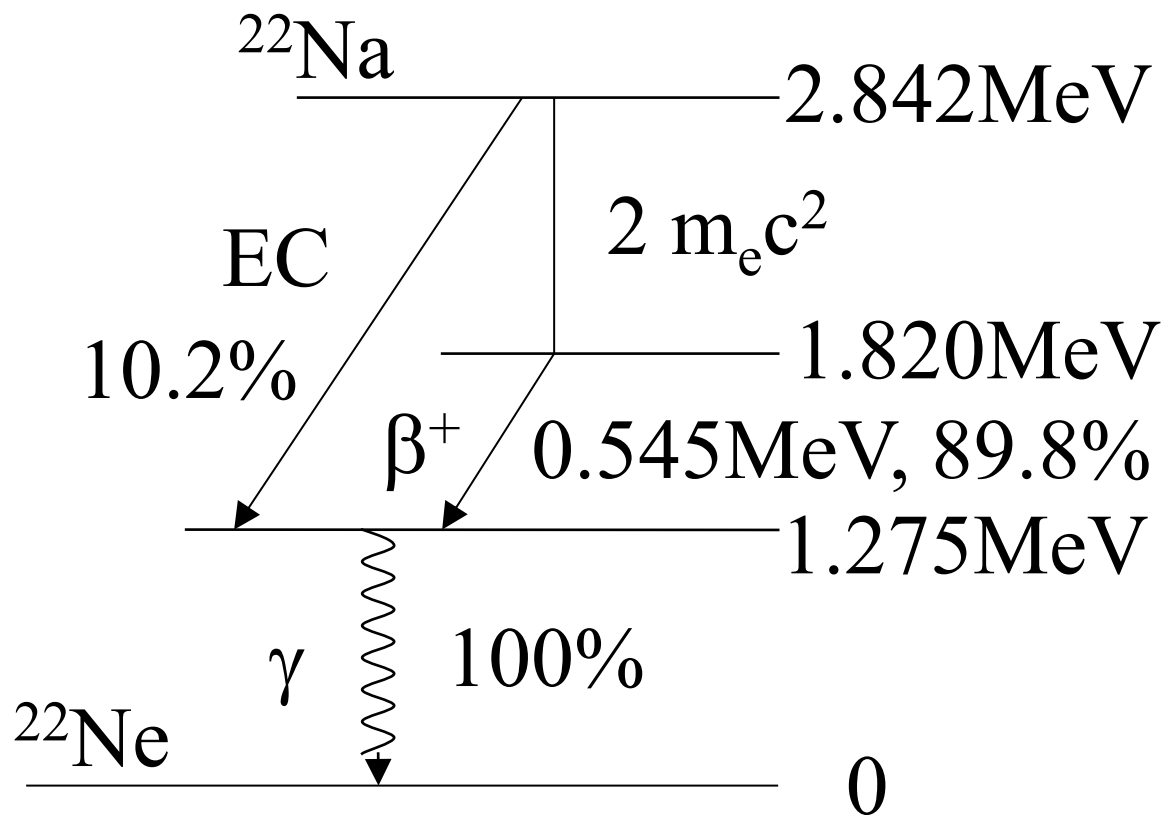
- 通常發生於K層(最內層電子)→K捕獲(K-capture)
- 核子發生EC後，處於激態(excited state)，會釋放特定波長的加馬射線

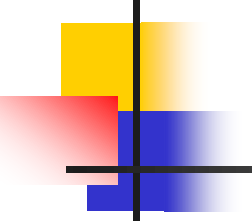
電子捕獲示意圖



核種衰變圖

- 質子比例過高、 β^+ 衰變或電子捕獲(EC)

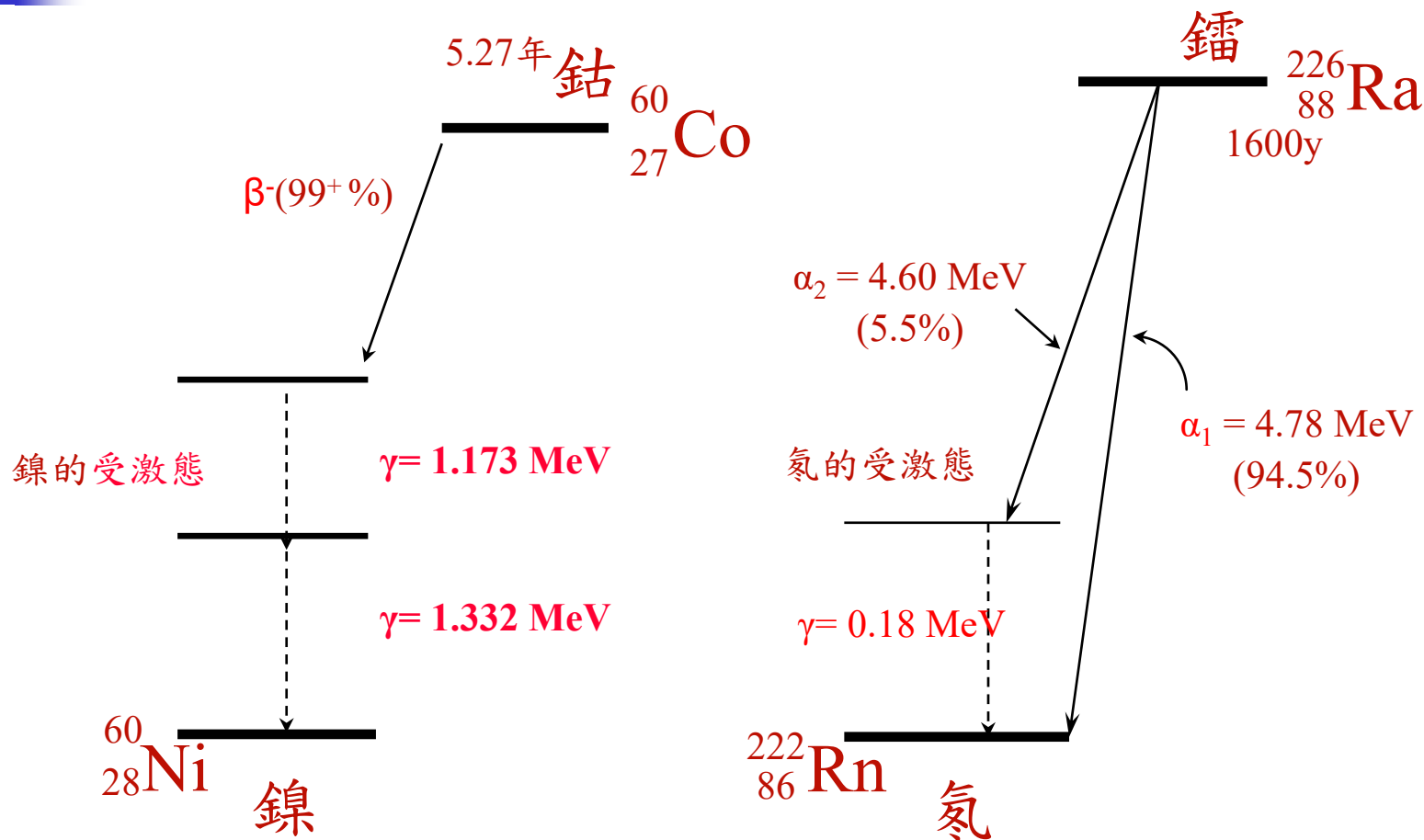




加馬(γ)射線

- 為高能量光子，不具靜止質量，不帶電荷之電磁輻射， γ 射線源自不穩定之原子核
- 部分核種進行 α 、 β 衰變時，子核可能暫時處於激態，很快的過渡到較低之激態或基態，多餘能量以光子(即加馬射線)自原子核內射出。

核種衰變圖

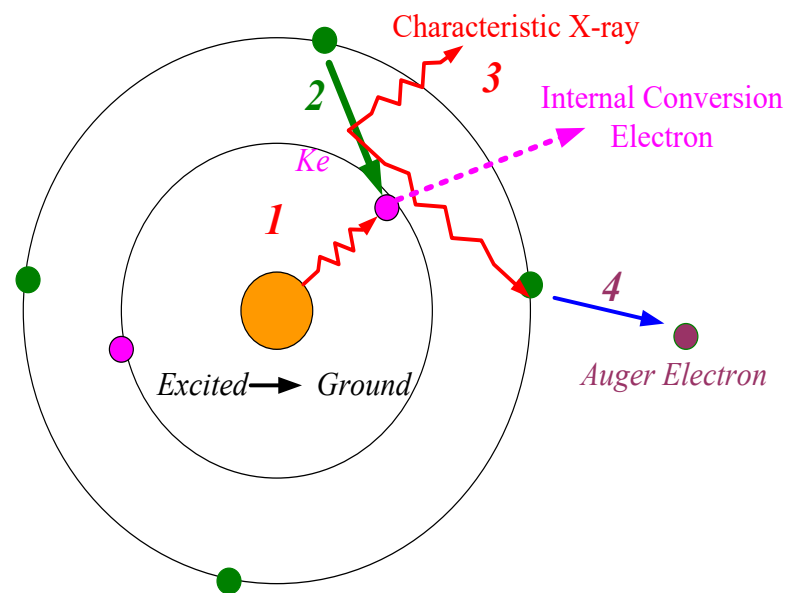


內轉換

- α, β 衰變完成後，原子核處於激態，與核外內層電子作用，將電子擊出，核釋放能量後降至基態

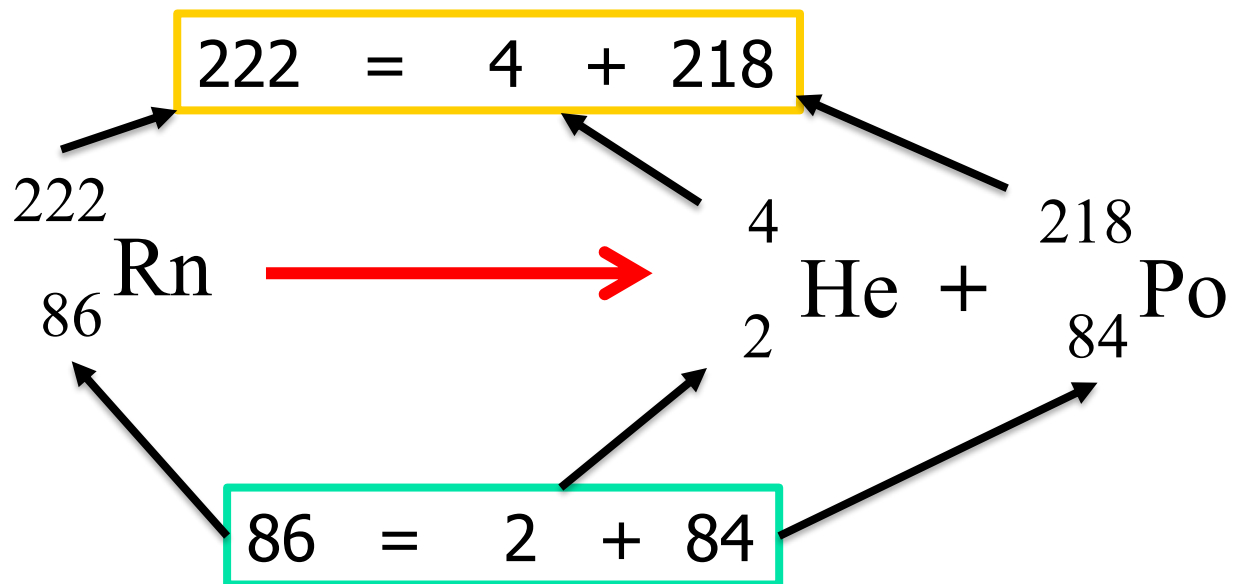
- 外層電子補位，產生特性X-射線

- 特性X-射線可再與原子作用，將電子擊出。(歐惹電子Auger electron)



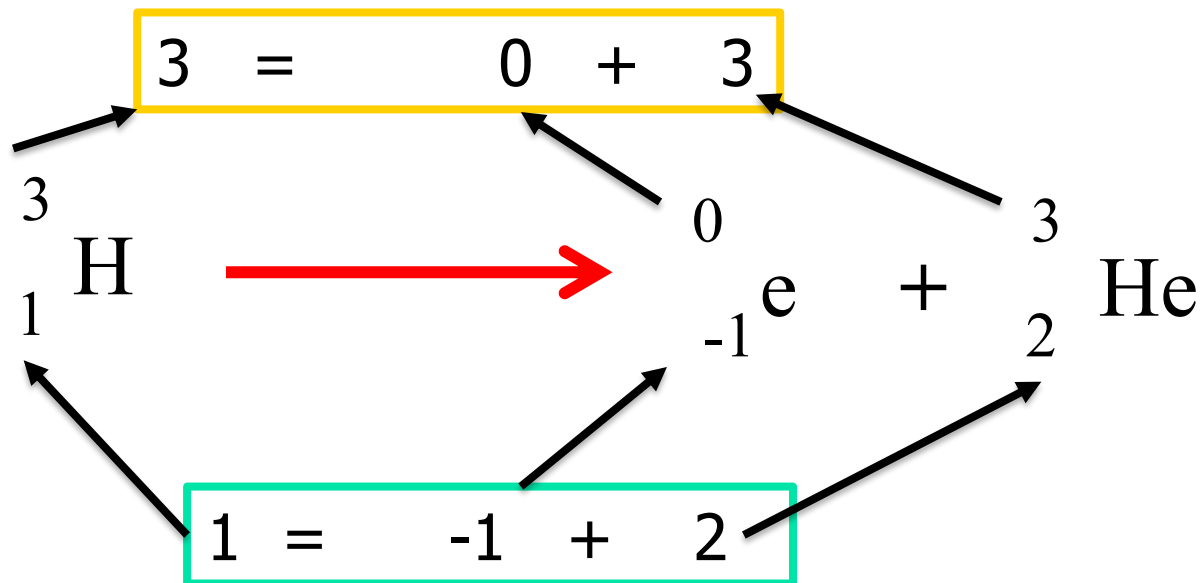
Nuclear Equations

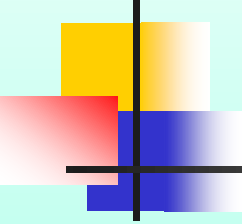
■ α 衰變



Nuclear Equations

- β衰變





同位素

- 關於同位素的敘述，下列何者錯誤？
- (1)同位素的電子數相同 (2)同位素的質量相同
- (3)同位素的化學性質相同 (4)同位素不一定具有放射性

■ 同位素(*isotope*) : 質子數(*Z*)相同(^{60}Co vs. ^{58}Co)

■ ANS(2)

質量數 A X N 中子數
質子數 Z

Nuclear Equations

- 氚(^3H)原子核之中子個數與氘(^2H)原子核的中子個數相差多少？(110-2 輻安測驗)
 - (1) 1 (2) 2 (3) 3 (4) 4
- $^{90}_{42}\text{Mo}$ 需經過幾次蛻變後會成為穩定的 $^{90}_{40}\text{Zr}$ ？
 - (1) 1 次 β^- (2) 2 次 β^- (3) 1 次 β^+ (4) 2 次 β^+ (110-2 輻安測驗)
- ^{131}Xe ($Z=54$)核種中含有多少中子？ (1) 131 (2) 185 (3) 77 (4) 54

質量數 A X N 中子數
質子數 Z

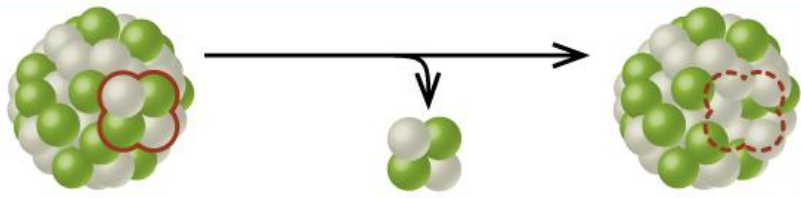
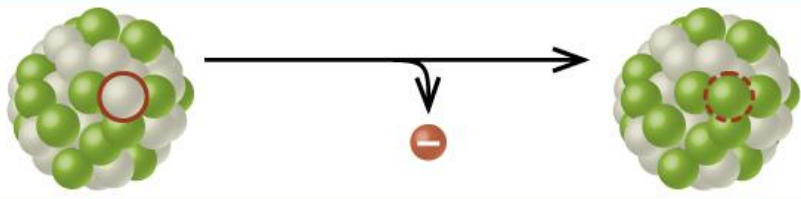
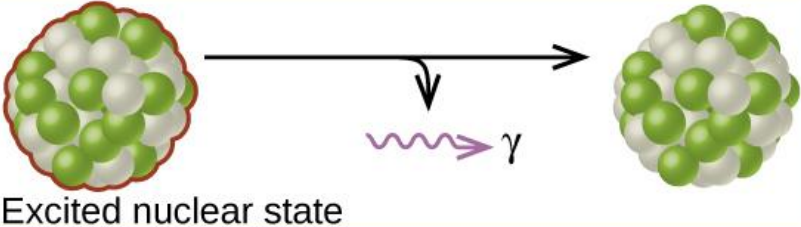
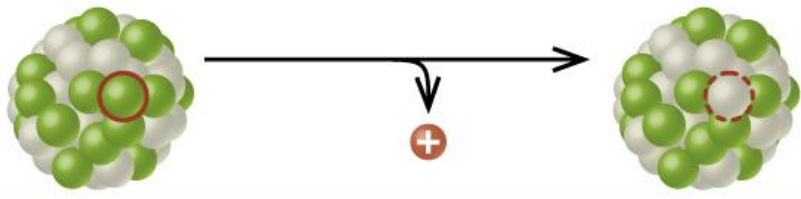
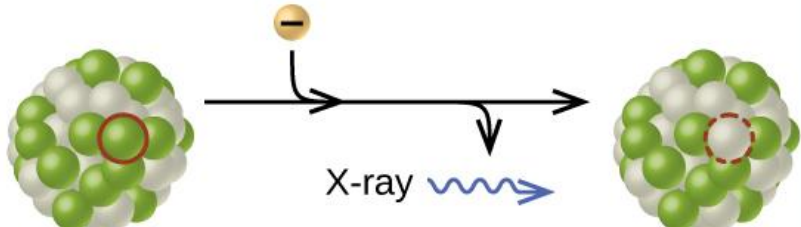
Nuclear Equations

- $^{238}_{92}\text{U}$ 的原子核內有多少個中子？ (1) 92 (2) 146 (3) 238 (4) 330 (111-1 輻安測驗)

■ Ans(2)

- (3) $^{10}\text{B} (n, \alpha) ^7\text{Be}$ (4) $^3\text{H} (d, n) ^4\text{He}$

■ Ans(3) $^{10}\text{B} (n, \alpha) ^7\text{Li}$

Type	Nuclear equation	Representation	Change in mass/atomic numbers
Alpha decay	${}^A_ZX \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{A-4}_{Z-2}Y$		A: decrease by 4 Z: decrease by 2
Beta decay	${}^A_ZX \rightarrow {}^0_{-1}e + {}^{A}_{Z+1}Y$		A: unchanged Z: increase by 1
Gamma decay	${}^A_ZX \rightarrow {}^0_0\gamma + {}^A_ZY$	 Excited nuclear state	A: unchanged Z: unchanged
Positron emission	${}^A_ZX \rightarrow {}^0_{+1}e + {}^{A}_{Z-1}Y$		A: unchanged Z: decrease by 1
Electron capture	${}^A_ZX + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \gamma$	 X-ray	A: unchanged Z: decrease by 1

放射性之發現(1896)

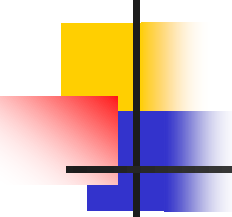
居禮夫婦(Marie Skłodowska-Curie and Pierre Curie)，和貝克(Antoine Henri Becquerel)，因發現放射性一起獲得 1903 諾貝爾物理獎



居禮夫婦

天然放射性核種

- 極長半化期(地球壽命約46億年)核種：例如 ^{40}K 鉀。
- 衰變系列成員：
 - 釷系(4n)： $^{232}\text{Th} \rightarrow \dots \rightarrow ^{220}\text{Rn}$ (氡) $\rightarrow \dots \rightarrow ^{208}\text{Pb}$ 。
 - 錒系(4n+1)： $^{237}\text{Np} \rightarrow \dots \rightarrow ^{209}\text{Bi}$ (所有成員皆已衰變)。
 - 釷系(4n+2)： $^{238}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow ^{226}\text{Ra}$ (鐳) $\rightarrow ^{222}\text{Rn}$ (氡) $\rightarrow \dots \rightarrow ^{210}\text{Po}$ (釷) $\rightarrow ^{206}\text{Pb}$ 。
 - 錒系(4n+3)： $^{235}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ 。
- ^3H 與 ^{14}C ：宇宙射線與大氣層中 ^{14}N 作用所生成。



放射性核種的製造(1/2)

- **迴旋加速器(cyclotron)**：利用迴旋加速器所加速的正荷電粒子，例如質子、氦核、 ^3He 或其他原子核，撞擊穩定的靶核，由於原穩定靶核添加了能量與/或核子，可能成為放射性核種。
- **反應器(reactor)**：可直接純化反應器內核分裂反應的產物；可利用反應器或其他核反應生成的中子，以中子捕獲反應產生放射性核種。

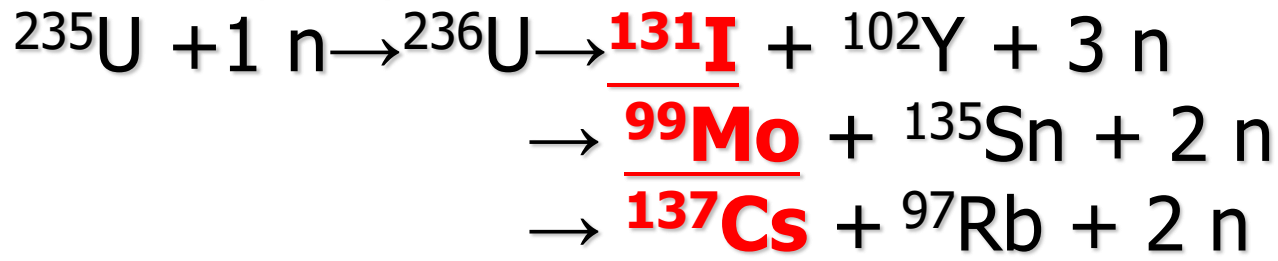
放射性核種的製造(2/2)

- 迴旋加速器： $(^{18}\text{F}, ^{11}\text{O}, ^{13}\text{N} \dots)$



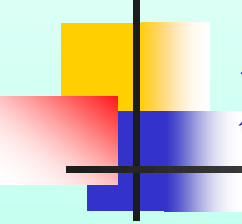
- 反應器：

- ◆ 核分裂(n, f)反應：



- ◆ 中子捕獲(n, γ)反應：





放射性核種

- 下列何者為天然放射性核種? (1) ^{60}Co (2) ^{137}Cs (3) ^{40}K (4) ^{192}Ir (110-2輻安測驗)
- 下列天然放射性核種中，何者屬於 $4n + 2$ 系列? (1) ^{232}Th (2) ^{241}Pu (3) ^{238}U (4) ^{235}U (111-1輻安測驗)

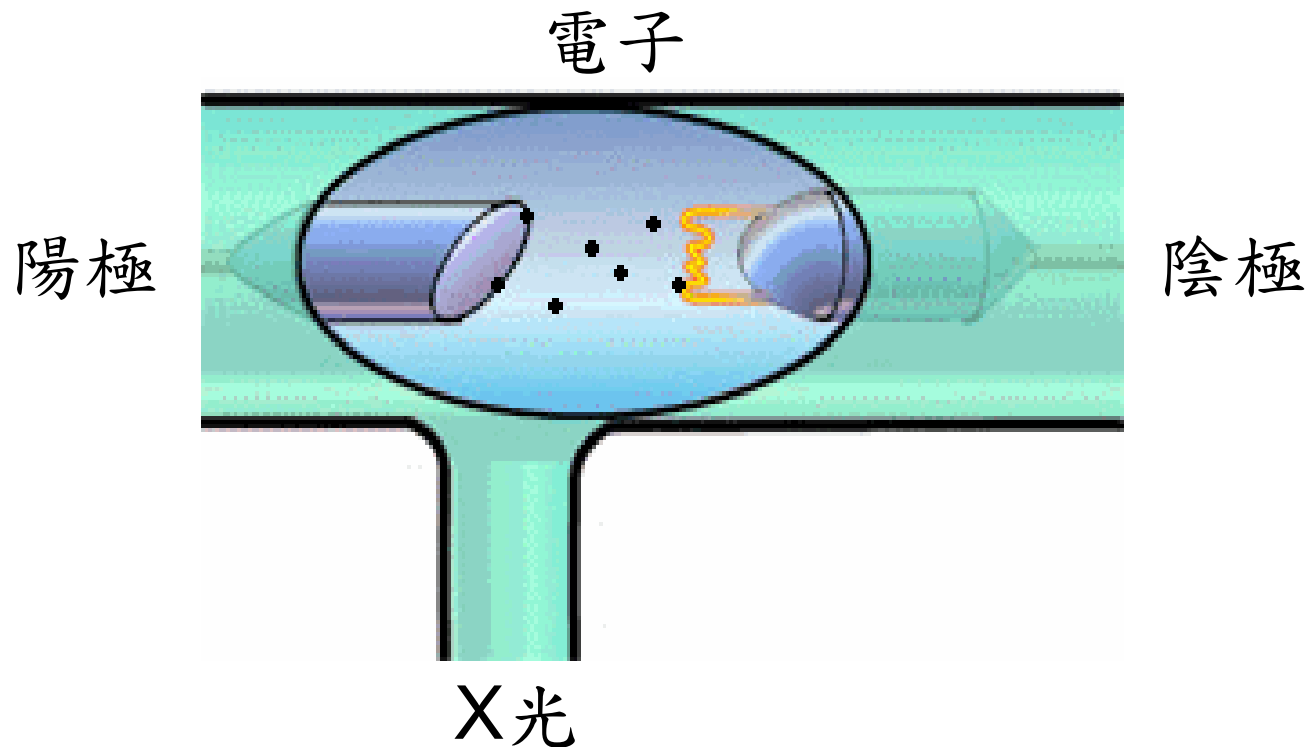
倫琴發現X光 (1895)

倫琴(Wilhelm Conrad
Röntgen)發現了X射線
獲得1901年首屆諾貝
爾物理學獎



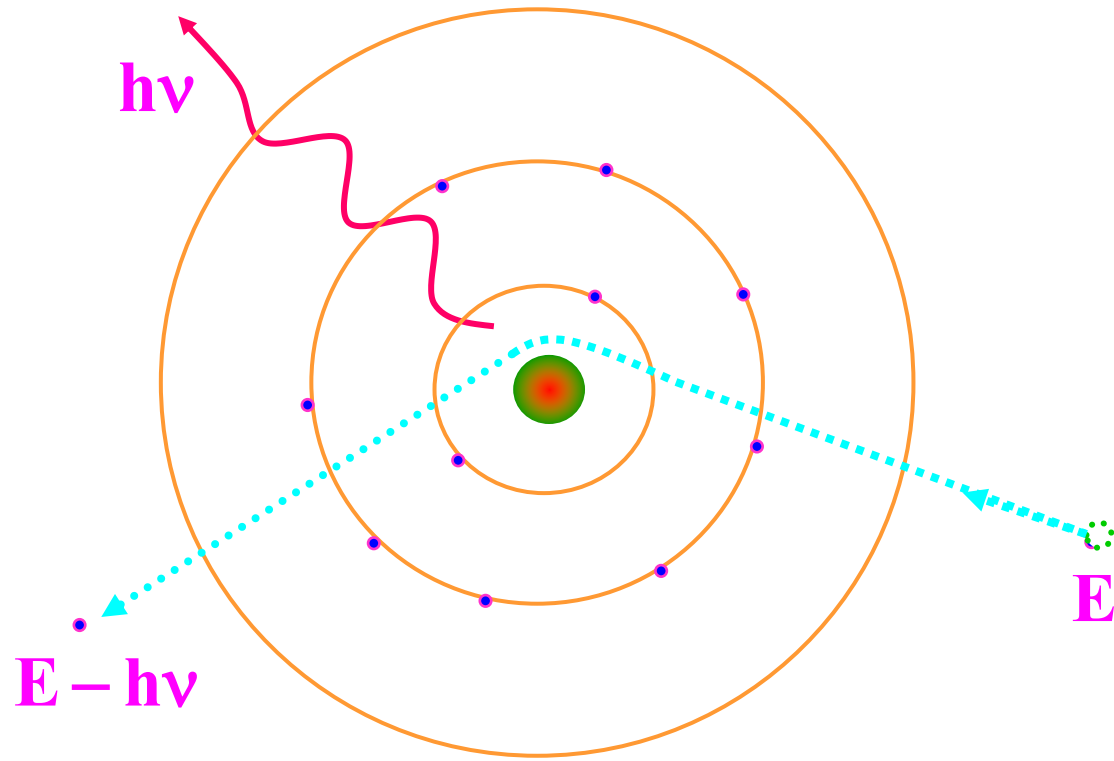
X光的產生

X射線：制動輻射及特性輻射



X光-制動輻射

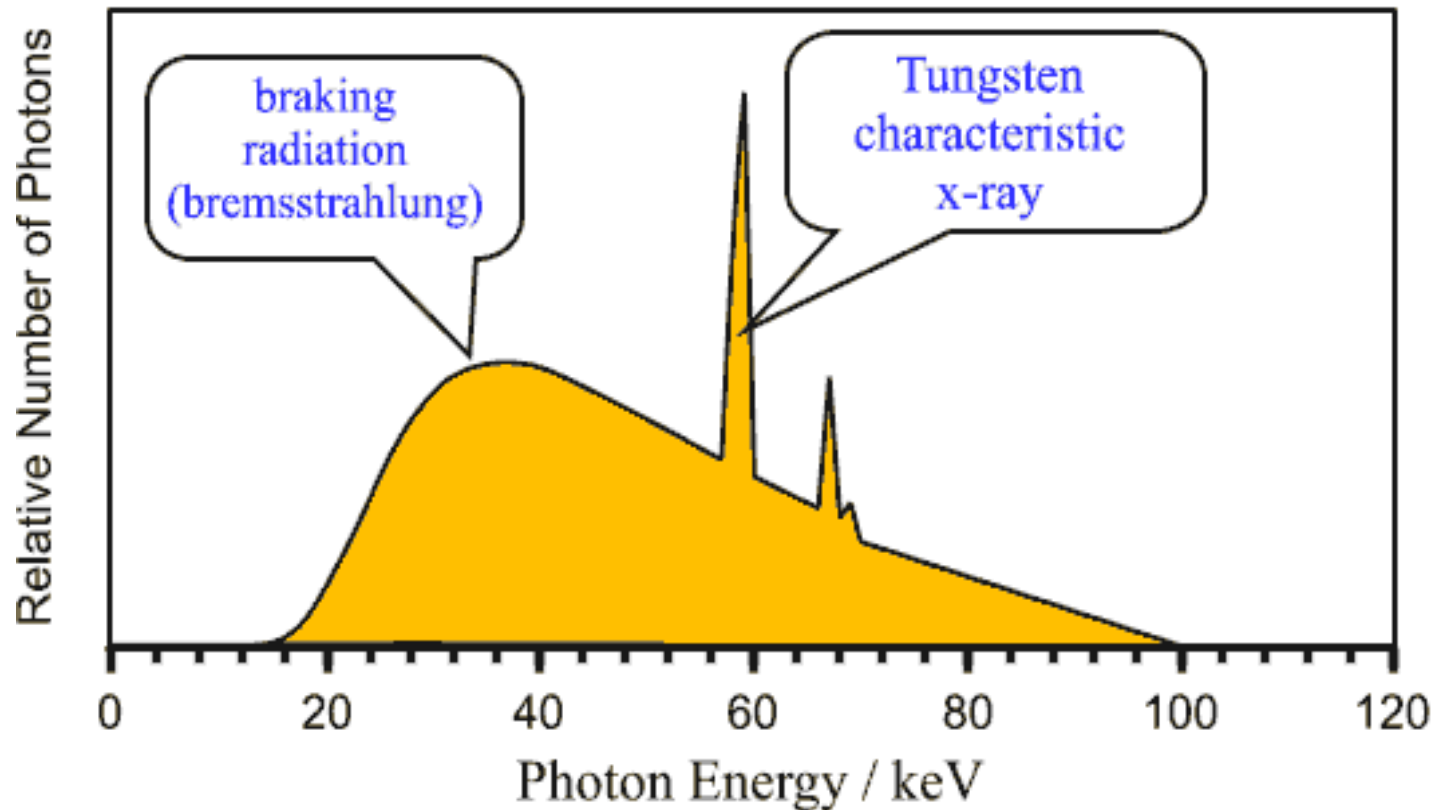
■ 制動輻射：
伴隨荷電粒子
（如陰極
射線）減速
所產生之電
磁輻射，能
量為連續分
布

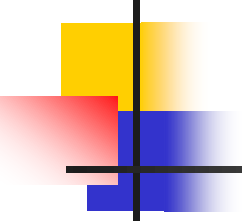


A diagram of an atom with a central nucleus (green and red) and three concentric orange circular orbits. Purple dots representing electrons are located on these orbits. A red arrow points from an electron on the innermost orbit to an electron on the middle orbit. A blue arrow points from an electron on the middle orbit to an electron on the outermost orbit. A purple arrow points away from the atom, labeled $h\nu$. A red arrow points away from the atom, labeled E .

X光的能譜

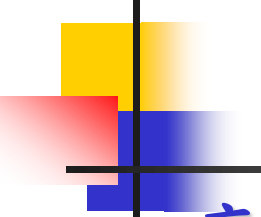
Calculated X-ray Spectrum 100kV, Tungsten target





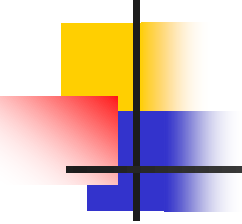
穩定物質的量

- **莫耳**：1莫耳指 6.02×10^{23} 個原(分)子。
- **質量**：1莫耳原(分)子的質量為**原(分)子量**。
- **體積**：自由空間、STP(0°C , 1 atm)下，1莫耳理想氣體的體積為22.4升(L)。
- **濃度**：1升溶液中溶有1莫耳溶質時，此溶質的**容積莫耳濃度**為1 M。



放射性物質的穩定性

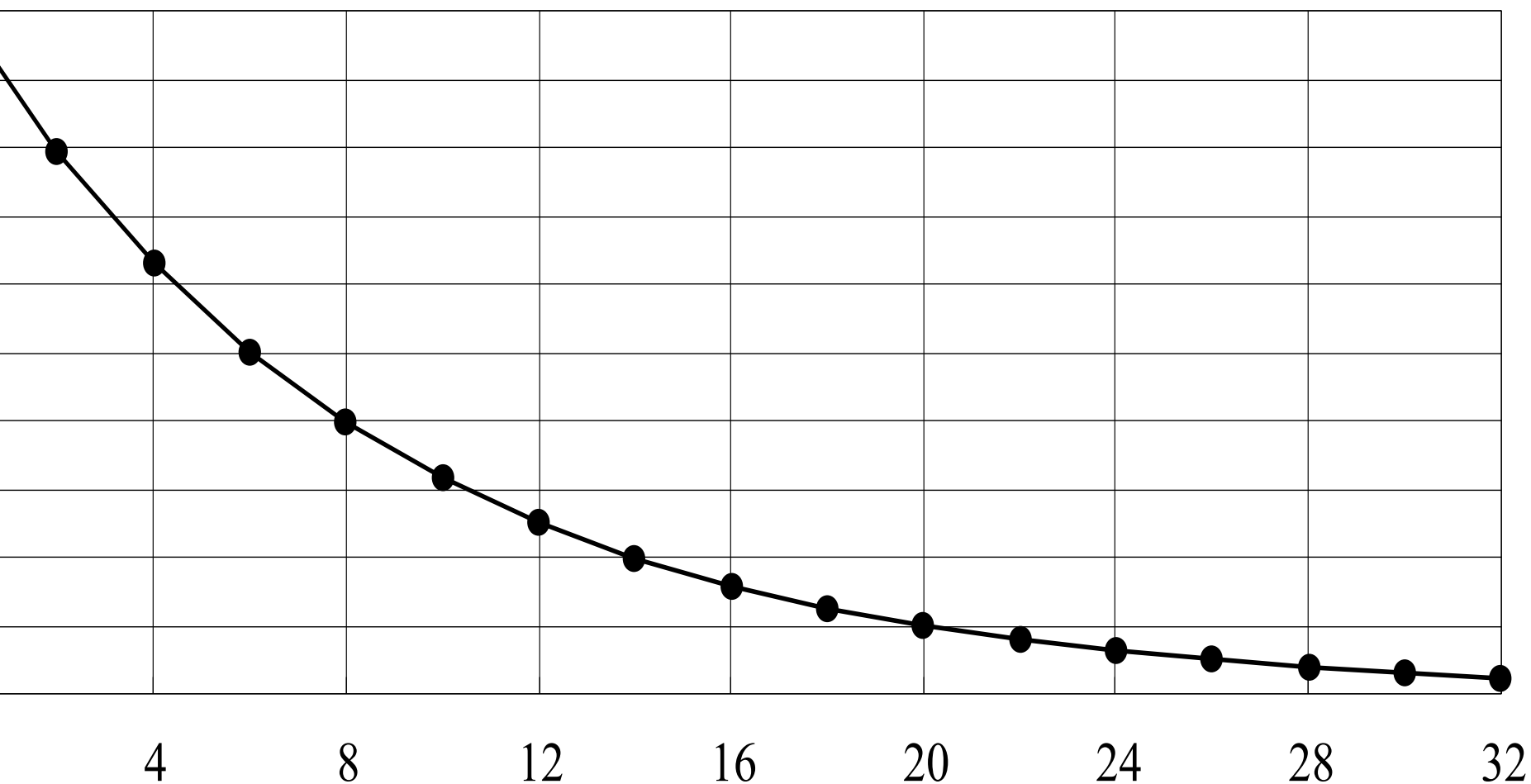
- **衰變常數**(decay constant, λ , 單位為 s^{-1})：指單位時間內放射性核種進行衰變的機率；故可用以代表一放射性核種穩定性的程度，即單位時間內衰變機率高者穩定性差，反之則優。
- **半化期**(half-life, T 或 $t_{1/2}$)：放射性核種衰變至原有數量一半所需的時間，稱為該放射性核種的半化期， **$\lambda = 0.693/T$** 。
- 放射性核種經 N 個半化期後，原子數目將降為原來的 $(1/2)^N$ 或降為原來的 $e^{-\lambda t}$ 。
- **平均壽命** $= 1/\lambda = T/0.693$

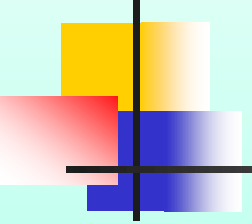


活度(Activity)

- 活度：定量放射性物質的危險性。
- 活度(A)： $A = \lambda N$ ，其中 λ 為衰變常數，N為放射性核種的原子數。
- 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。某射源一秒內若有一放射性原子衰變，其活度稱為1貝克(Becquerel, Bq)。
- 居里(Curie, Ci)：活度的傳統單位，
- 定義為1 g ^{226}Ra 的活度。 $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 。
- ^{226}Ra 半衰期 為1600y

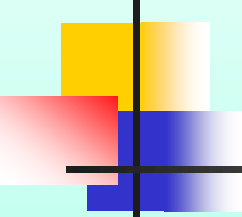
小波数比北上的吐陆口数了反





活度及半化期計算

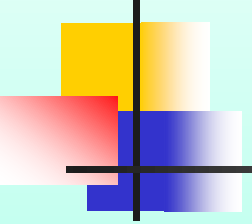
- 放射性核種經過9個半化期，活度減為原來的多少？
- (1) $1/9$ (2) $1/512$ (3) $1/1024$ (4) $1/2048$
- 某一放射核種衰變 20 天後，活度只剩原有的百分之三，其半化期約為幾天？ (1) 3.2 (2) 3.6 (3) 4.0 (4) 4.4



活度及半化期計算

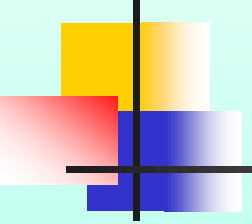
- 100 Bq 等於多少 mCi？(110-2輻安測驗)
- (1) 2.7×10^{-6} (2) 2.73×10^{-9} (3) 3.7×10^{-7}
(4) 3.7×10^{-10}
- ANS: (1)

- 貝克(Bq)為哪種輻射量之 SI 單位？(110-2輻安測驗)
- (1)吸收劑量 (2)等價劑量 (3)集體劑量 (4)活度



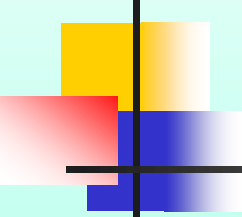
活度及半化期計算

- ^{60}Co 的半化期為 5.26 年，當 10^8 個 ^{60}Co 原子經過 10.52 年後約剩多少個？
- (1) 2.5×10^8 (2) 5×10^7 (3) 2.5×10^7 (4) 5×10^8
- ANS: (3)



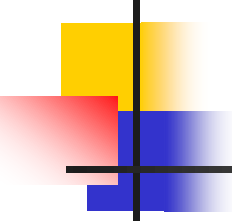
活度及半化期計算

- ^{125}I 的衰變常數 λ 為 $1.34 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ ，請問其半化期約為何？ (1) 20 天 (2) 40 天 (3) 60 天 (4) 80 天
- **$T = 0.693/\lambda$**
- ANS: (3)



活度及半化期計算

- ^{14}C 的比活度(specific activity)約為多少 Ci/g ?
(^{14}C 的半化期為 5730 年) (1) 4750 (2) 565 (3) 4.51 (4) 47.5 (110-1 輻安測驗)
- 解: 1Ci 定義為 1 g ^{226}Ra 的活度。1 Ci = 3.7×10^{10} Bq, ^{226}Ra 半衰期 為 1600y
- $A = \lambda N$; $\lambda = 0.693/T$
- $SA = A/M = \underline{(1600/T) * (226/M)} = \underline{(1600/5730) * (226/14)}$
- ANS: (3)

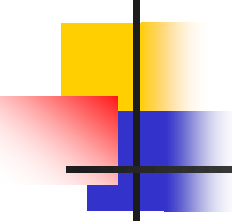


輻射與物質的作用

- 重荷電粒子：例如 α ，**游離**(含激發)。
- 輕荷電粒子：例如 β ， δ ，**游離**(含激發)為主要釋能方式，少量因**產生制動輻射**釋能。
- 光子： X 與 γ ，以**光電效應**、**康普吞散射**、**成對發生**等方式產生 $\gamma(x)$ 射線。
- 中子：高能量中子的**彈性碰撞**，產生回跳核；高能量中子的**非彈性碰撞**，發生核反應；低能量中子的**中子捕獲**，形成放射性核種或釋出 γ 。

輻射與物質的作用-中子

- 中子不帶電，質量略重於質子。因無庫倫力作用，容易進入原子結構，穿透力強，可穿透人體。
- 與物質作用之方式是碰撞及核反應，[如 (n, γ) 、 (n, p) 等]，再由帶電粒子產生游離作用。（間接游離輻射）
- 能量範圍涵蓋寬廣：
 - 熱中子：0.5 eV以下
 - 中速中子：0.5 eV- 100keV
 - 快中子：100keV以上
- 與重核(如 ^{235}U 、 ^{239}Pu)撞擊後產生分裂，稱為中子誘發分裂。（目前核能發電原理）



輻射與物質的作用-直接游離

- 帶電粒子均屬直接游離輻射
- 阻擋本領(Stopping power, S)

$$S = -(dE/dl)$$

- dl = 單位物質厚度[cm]
- dE = 電子能量損失[MeV], dE 不包括電子與介質作用所產生的二次電子(δ -ray)的局部能量吸收

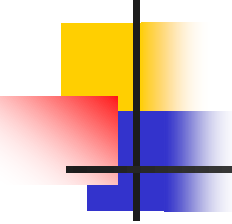
直接游離輻射-直線能量轉移

- 直線能量轉移 (Linear Energy Transfer, LET) : 特定能量荷電粒子行經一 dl 距離中，經單次碰撞局部給予(locally imparted)吸收介質的平均能量
- $d\bar{E}$ 給予能量有其限制，須不超過限定值 Δ

■ 不考慮制動輻射

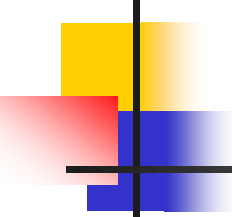
$$LET_{\Delta} = -\left(\frac{d\bar{E}}{dl}\right)_{\Delta}$$

- LET_{Δ} 又稱為限定碰撞阻擋本領(restricted stopping power) $\Delta \rightarrow \infty, LET = S_{col}$



直接游離輻射-阿伐粒子

- 阿伐粒子：為重帶電粒子,經由碰撞使物質中**原子游離(ionization)**或**激發(excitation)**
 - 游離：電子自輻射獲取足以克服束縛能的能量，成為自由電子
 - 激發：電子自輻射獲取不足以克服束縛能的能量，在原位置振動或離開原位置到較高之能態
 - 與電子碰撞只傳遞很小一部份能量，其偏轉角度非常小(幾以直線穿越物質)，經由不斷的碰撞產生被游離或激發的原子、離子與電子。**(非彈性碰撞、游離密度高)**
 - **被游離的電子**可繼續與物質作用，產生二次電子
 - 與物質作用產生的制動輻射，可以忽略。

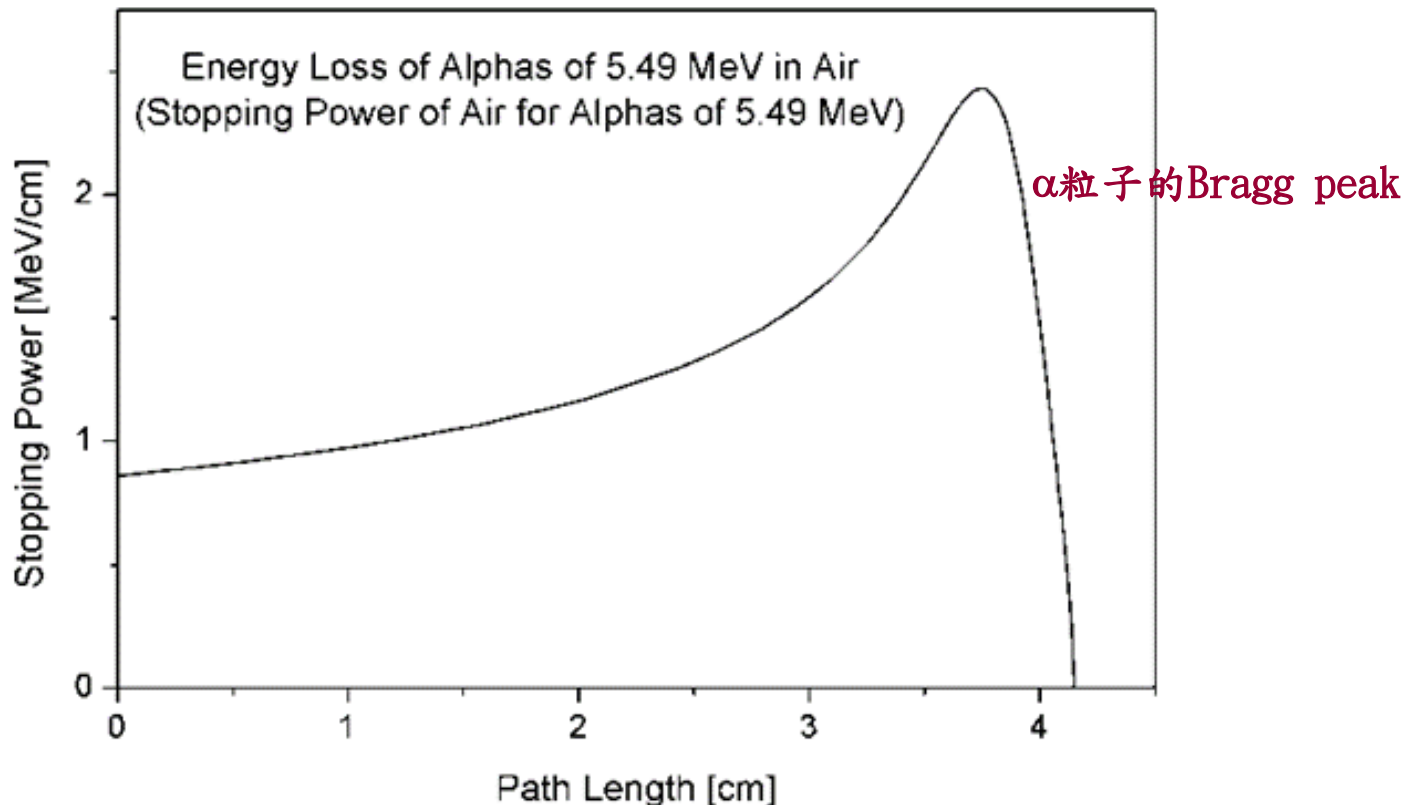


直接游離輻射-重帶電粒子

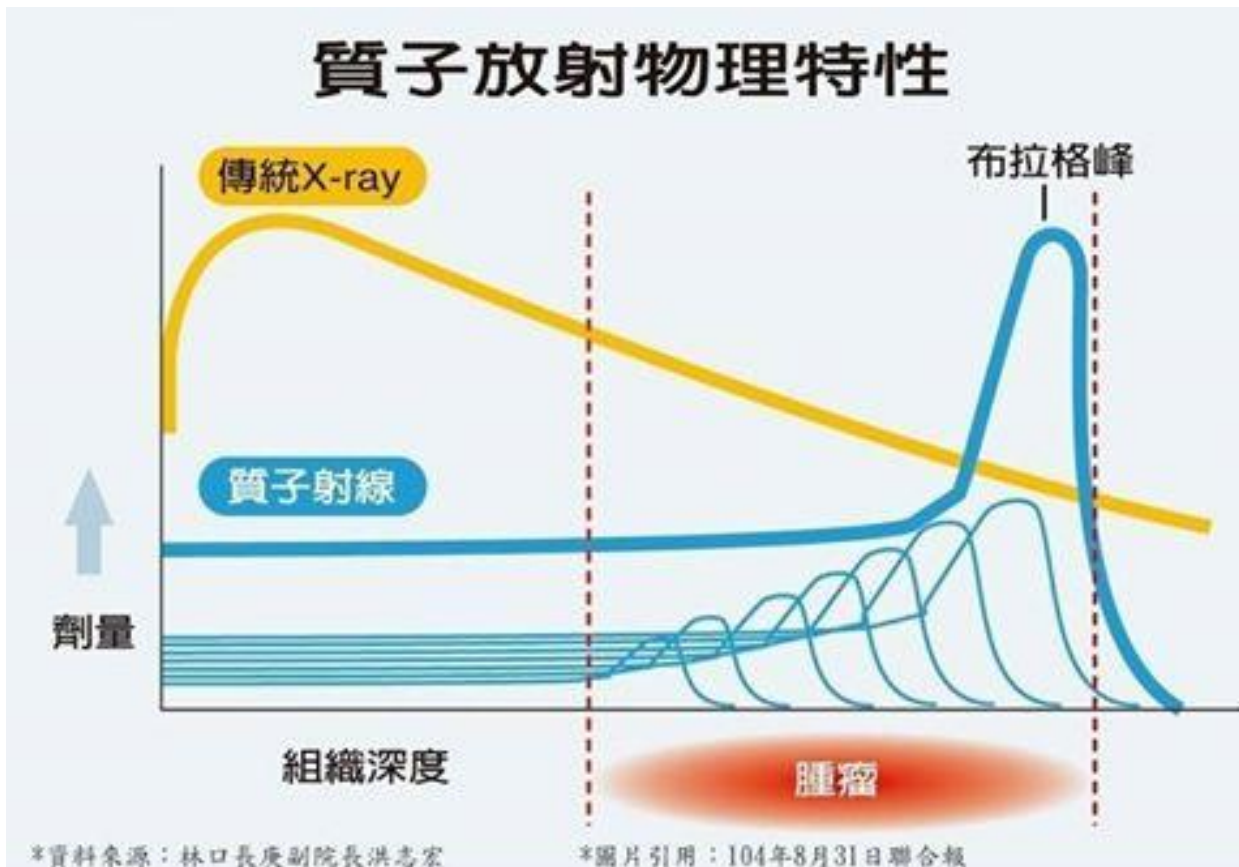
- 如 α ($^4\text{He}^{+2}$)、質子(p^+)、氘($^2\text{H}^+$)、氚($^3\text{H}^+$)等。
- 重帶電粒子與物質主要作用機制：
 - 與外圍電子非彈性碰撞
 - ✓ 庫倫力作用產生游離或激發，為主要能量轉移機制
 - 與外圍電子彈性碰撞
 - ✓ 能量與外圍電子束縛能接近時，能量損失小
 - 與原子核非彈性碰撞
 - ✓ 制動輻射，能量損失小
 - 與原子核彈性碰撞
 - ✓ 方向偏移小(小角度散射，向前為主)，能量損失小
 - 核反應：如 $^{10}\text{B}(\alpha, \text{n})^{13}\text{N}$

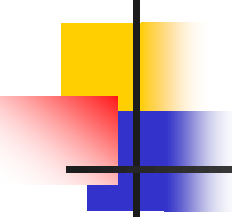
直接游離輻射-阿伐粒子

布拉格峰(Bragg Peak)一種高速帶正電荷離子在物體中行進時，于即將停止時才將大部分能量釋放出來的現象



直接游離輻射-質子





直接游離輻射-貝他粒子

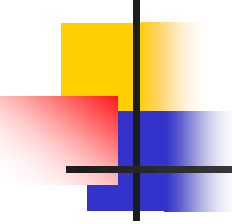
- 貝他粒子與物質作用機制：

- 與物質中電子彈性碰撞，為主要能量轉移機制。

- 大角度散射

- 與物質中原子核作用產生制動輻射，通常為高原子序介質、高能量電子主要能量轉移機制。

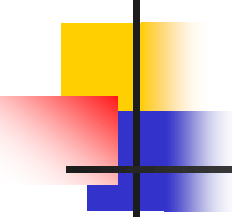
- 與入射粒子靜質量平方成反比



直接游離輻射-貝他粒子

- 制動輻射 (Bremsstrahlung)

- 高能電子接近原子核時, 以非彈性碰撞釋放連續能量的電磁輻射, 如同煞車
- 高原子序介質、高能電子主要能量轉移機制-為制動輻射



間接游離輻射-光子

- 光電效應 (photoelectric effect)

$$E_{pe} = h\nu - \phi$$

- 康普頓散射 (Compton scattering)

$$E_{r'} = \frac{E_r}{1 + (E_r / mc^2)(1 - \cos \theta)}$$

- 成對反應 (pair production)

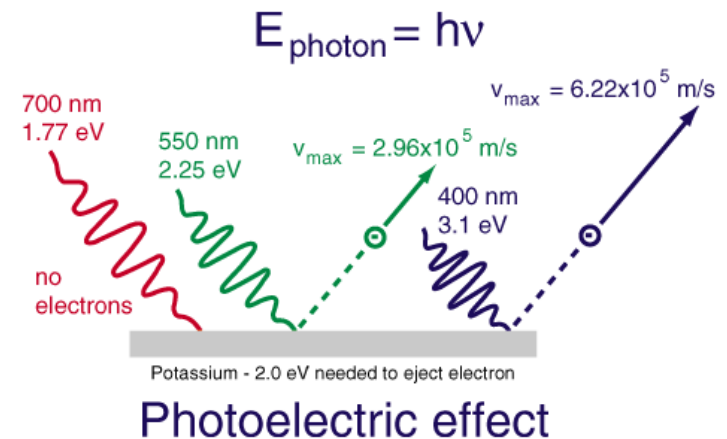
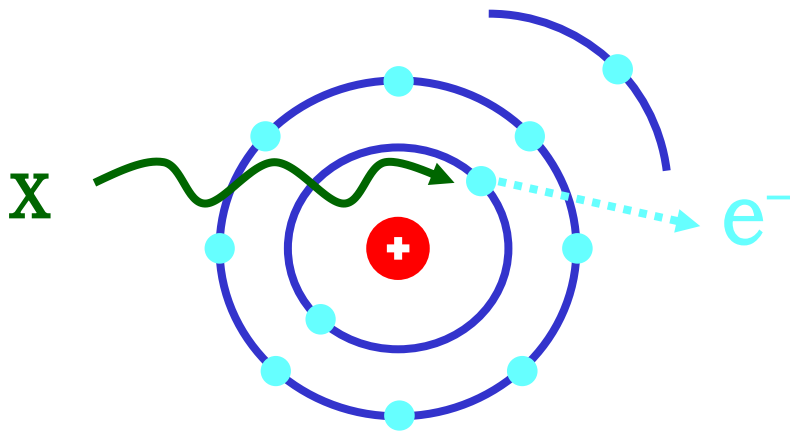
$$E_p + E_{p'} = h\nu - 1.022$$

間接游離輻射-光電效應

■ 光電效應 (photoelectric effect)

- 光電效應：物質吸收光子後，產生自由電子。
- 1867年Heinrich Rudolf Hertz發現

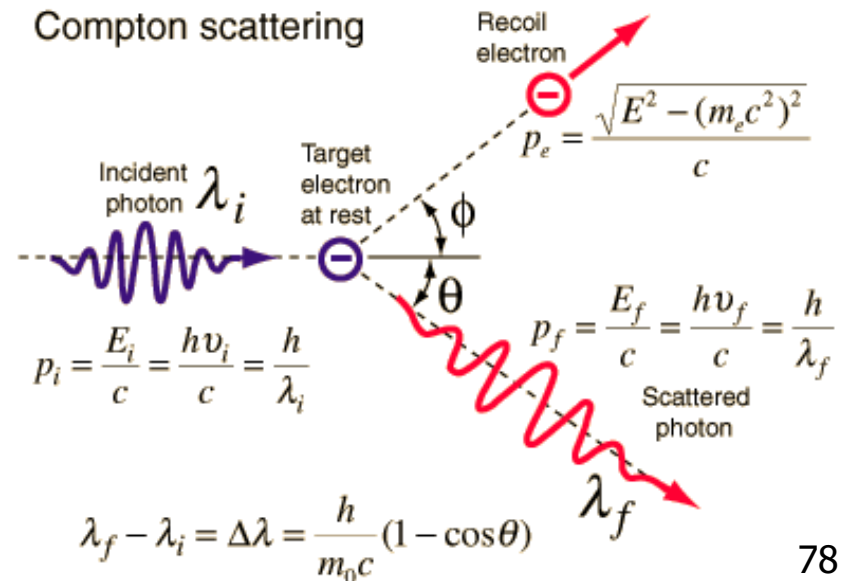
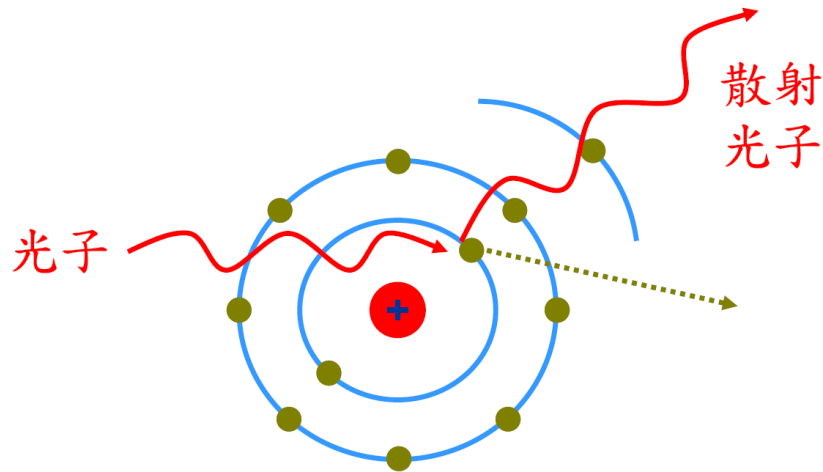
$$E_{pe} = h\nu - \phi$$

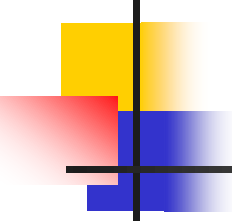


間接游離輻射-康普頓散射

康普頓散射 (Compton Scattering)

- A. H. Compton (1923)發現
- 光子與物質中電子作用損失能量，波長變長
- 波長變化幅度($\Delta\lambda$)稱為康普頓偏移



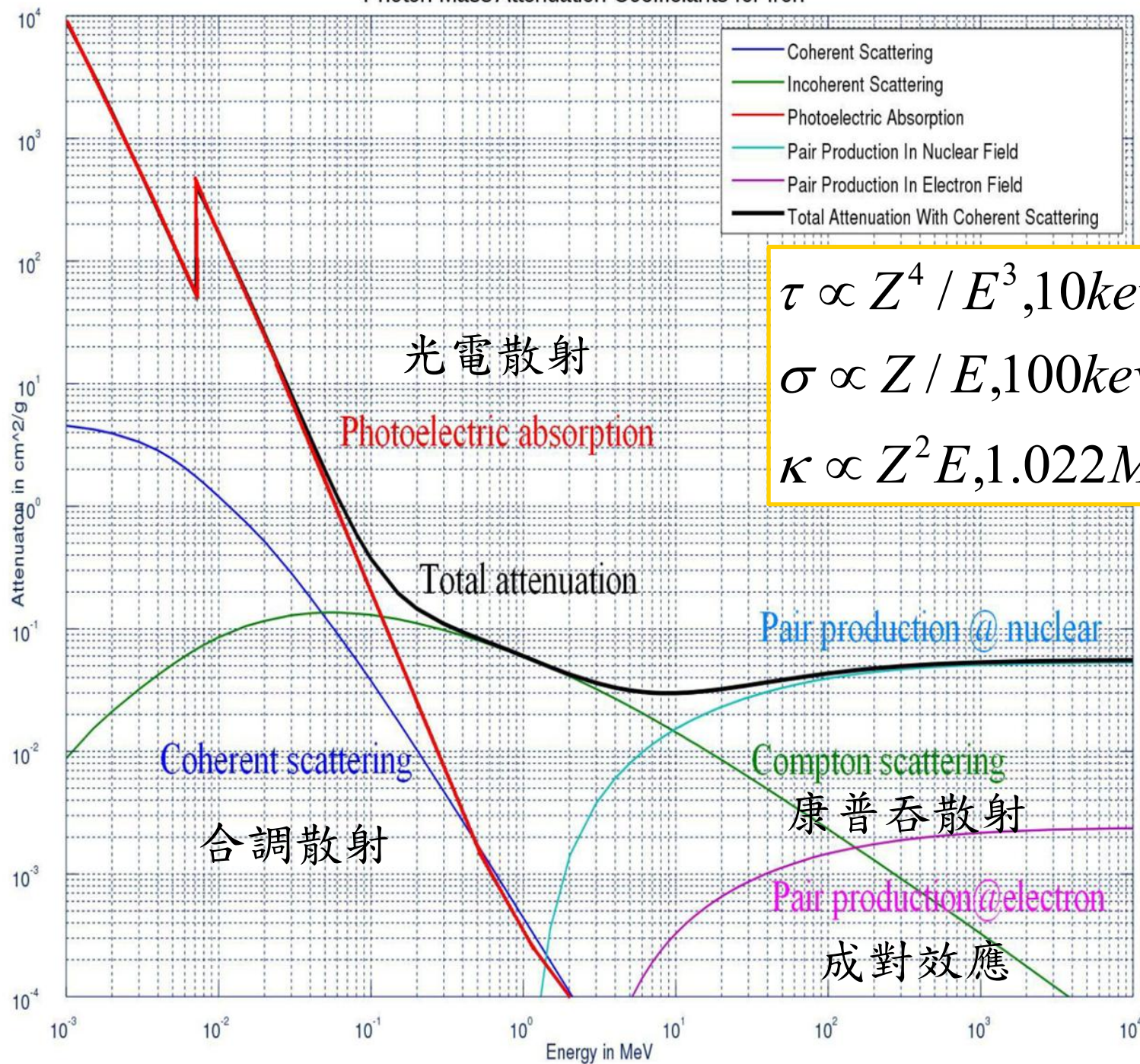


間接游離輻射-成對效應

● 成對效應 (Pair production effect)

- Patrick Blackett (1932)發現 → 能量轉換為質量
- 由光子產生基本粒子與其反粒子, 遵守4大守恆 (能量, 動量, 角動量, 電荷)
 - 光子能量低限 $> 1.022 \text{ MeV}$
 - 產物為電子(e^-) – 正子(e^+)對
- $E_{e^-} + E_{e^+} = h\nu - 1.022$
- 逆反應為互毀反應(Annihilation effect)

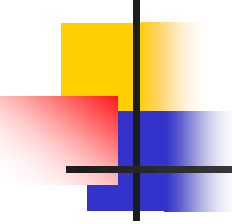
Photon Mass Attenuation Coefficients for Iron



$$\tau \propto Z^4 / E^3, 10\text{keV} \sim 500\text{keV}$$

$$\sigma \propto Z / E, 100\text{keV} \sim 3\text{MeV}$$

$$\kappa \propto Z^2 E, 1.022\text{MeV} \text{以上}$$



間接游離輻射-中子

● 中子與物質作用有5種機制：

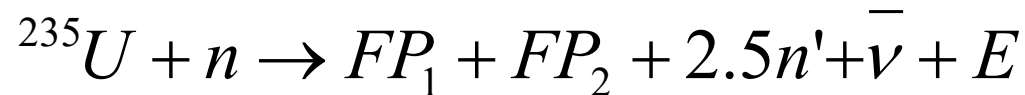
- 彈性碰撞/中子減速緩和 (Moderation)

- 非彈性碰撞(Inelastic collision)

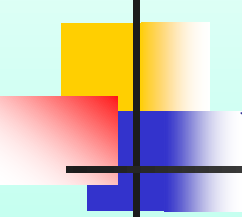
- 中子捕獲 (Neutron Capture)



- 中子誘發核分裂 (Neutron induced Fission)

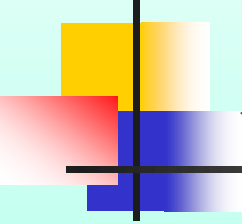


- (n,p) , (n,d) , (n,α) 反應



輻射與物質作用

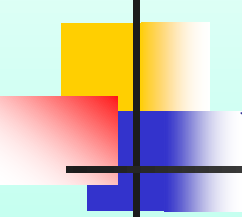
- 游離輻射與物質的各種作用中，何種作用機率受物質原子序影響最大？(110-輻安測驗)
- (1)成對發生效應 (2)康普吞效應 (3)光電效應 (4)合調散射
- Ans: (3)



輻射與物質作用

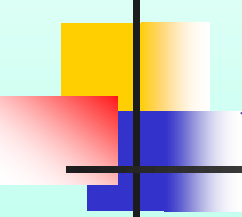
- 發生康普吞散射之後，散射光子的變化為何？
- (1)質量減少 (2)頻率增加 (3)能量增加 (4)波長變長

- Ans: (4)



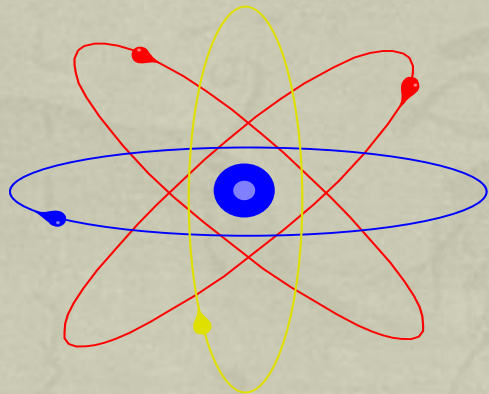
輻射與物質作用

- 下列何者與物質作用會產生制動輻射？(110-2輻安測驗) (1)電子 (2)中子 (3) X 射線 (4) γ 射線
- 當高能貝他(β^-)粒子撞擊下列各項物質時，何者產生的制動輻射量最少？(110-2輻安測驗)
- (1)鐵 (2)鉛 (3)銅 (4)水



輻射與物質作用

- 請問以下何種射線(束)與水作用的布拉格峰(Bragg peak)最明顯？(110-2輻安測驗)
- (1)加馬射線 (2)質子 (3)中子 (4)電子
- 貝他射線與物質作用除了游離或激發反應外，還會產生？(110-1輻安測驗) (1)康普頓散射 (2)成對發生 (3)光電吸收 (4)制動輻射



輻射安全證書18小時訓練課程

游離輻射防護法

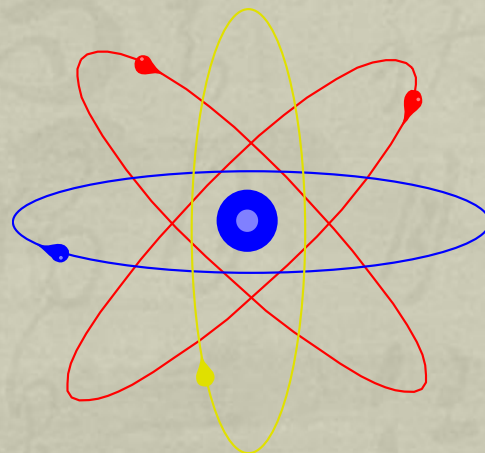
大綱：

壹、前言

貳、法規簡介

參、輻防法施行細則與輻防法之
關係及子法

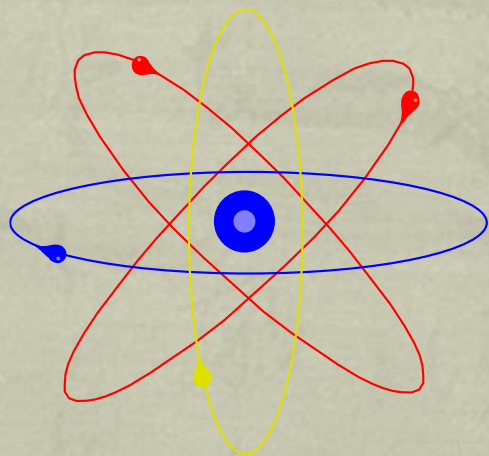
肆、案例介紹



壹、前言

- 一、輻射防護法所管制事項主要分為「**輻射安全防護**」及「**放射物質、可發生游離輻射設備或輻射作業管理**」。
- 二、管制之行為，管制「**人**」和「**物**」所組成的**輻射作業**。
- 三、游離輻射防護法經立法院三讀通過，並於民國91年1月30日經總統公佈實施。

貳、法規簡介



(一)人的管制的法規有：

- 1、游離輻射防護法
- 2、游離輻射防護法施行細則
- 3、游離輻射防護安全標準
- 4、輻射防護管理組職及輻射防護人員設置標準
- 5、輻射防護人員管理辦法
- 6、放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法
- 7、放射性物質生產設施運轉人員管理辦法
- 8、高強度輻射設施種類及運轉人員管理辦法
- 9、輻射醫療曝露品質保證組職與專業人員設置及委託相關機構管理辦法
- 10、輻射工作人員特別健康檢查項目

(二)物的管制的法規有：

- 1、游離輻射防護法
- 2、游離輻射防護法施行細則
- 3、放射性物質與發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法
- 4、放射性物質安全運送規則
- 5、商品輻射限量標準
- 6、輻射醫療曝露品質保證標準
- 7、輻射源豁免管制標準
- 8、放射性污染建築物事件防範及處理辦法
- 9、天然放射性物質管理辦法

(三)、「雇主」(人)：

1. 從事或參與輻射作業之人員，以年滿十八歲者為限。
但基於教學或工作訓練需要，於符合特別限制情形下，
得使十六歲以上未滿十八歲者參與輻射作業。
(輻防法第14條第1項)
2. 任何人不得令未滿十六歲者從事或參與輻射作業。
(輻防法第14條第2項)
3. 雇主對告知懷孕之女性輻射工作人員，應即檢討其工作條件，以確保妊娠期間胚胎或胎兒所受之曝露不超過游離輻射防護安全標準之規定；其有超過之虞者，雇主應改善其工作條件或對其工作為適當之調整。
(輻防法第14條第3項)

4. 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。
(輻防法第14條第4項)
5. 確保輻射工作人員所受職業曝露不超過劑量限度並合理抑低，雇主應對輻射工作人員實施個別劑量監測。但經評估輻射作業對輻射工作人員一年之曝露不可能超過劑量限度之一定比例者，得以作業環境監測或個別劑量抽樣監測代之。
(輻防法第15條第1項)
6. 雇主對輻射工作人員實施劑量監測結果，應依主管機關之規定記錄、保存、告知當事人。
(輻防法第15條第4項)
7. 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。
(輻防法第16條第1項)

8. 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。
(輻防法第16條第2項)
9. 前項輻射工作人員經特別健康檢查後，雇主應就其特別健康檢查結果、曝露歷史及健康狀況等徵詢醫師、輻射防護人員或專家之建議後，為適當之工作安排。
(輻防法第16條第3項)
10. 健康檢查及特別醫護監護之費用，由雇主負擔。體格檢查、健康檢查及特別醫護監護之紀錄，雇主應依主管機關之規定保存。
(輻防法第16條第4、5項)

(四)、設施經營者方面(物)：

1. 設施經營者應依其輻射作業之規模及性質，依主管機關之規定，設輻射防護管理組織或置輻射防護人員，實施輻射防護作業。
(輻防法 第7條第1項)
2. 輻射防護作業，設施經營者應先擬訂輻射防護計畫，報請主管機關核准後實施。未經核准前，不得進行輻射作業。
(輻防法第7條第2項)
3. 設施經營者應確保其輻射作業對輻射工作場所以外地區造成之輻射強度與水中、空氣中及污水下水道中所含放射性物質之濃度，不超過游離輻射防護安全標準之規定。前項污水下水道不包括設施經營者擁有或營運之污水處理設施、腐化槽及過濾池。
(輻防法第8條)

4. 輻射工作場所排放含放射性物質之廢氣或廢水者，設施經營者應實安全評估，並報請主管機關核准後，始得為之。前項排放，應依主管機關之規定記錄及申報並保存之。

(輻防法第9條)

5. 設施經營者應依主管機關規定，依其輻射工作場所之設施、輻射作業特性及輻射曝露程度，劃分輻射工作場所為管制區及監測區。管制區內應採取管制措施；監測區內應為必要之輻射監測，輻射工作場所外應實施環境輻射監測。

(輻防法第10條第1項)

6. 場所劃分、管制、輻射監測及場所外環境輻射監測，應擬訂計畫，報請主管機關核准後實施。未經核准前，不得進行輻射作業。

(輻防法第10條第2項)

7. 境輻射監測結果，應依主管機關之規定記錄及申報並保存之。
(輻防法第10條第3項)

8. 輻射工作場所發生重大輻射意外事故且情況急迫時，為防止災害發生或繼續擴大，以維護公眾健康及安全，設施經營者得依主管機關之規定採行緊急曝露。
(輻防法第12條)

9. 設施經營者於下列事故發生時，應採取必要之防護措施，並立即通知主管機關：(輻防法第13條第1項)天霸王條款、天條

(1)、人員接受之劑量超過游離輻射防護安全標準之規定者。

(2)、輻射工作場所以外地區之輻射強度或其水中、空氣中或污水下水道中所含放射性物質之濃度超過游離輻射防護安全標準之規定者。本款污水下水道不包括設施經營者擁有或營運之污水處理設施、腐化槽及過濾池。

(3)、放射性物質遺失或遭竊者。

(4)、其他經主管機關指定之重大輻射事故。

10.設施經營者除應依相關規定負責清理外，並應依規定實施調查、分析、記錄及於期限內向主管機關提出報告。

(輻防法第13條第3項)

11.事故發生時，除採取必要之防護措施外，非經主管機關核准，不得移動或破壞現場。

(輻防法第13條第4項)

(五)、輻射工作人員方面：

1. 從事或參與輻射作業之人員，以年滿十八歲者為限。但基於教學或工作訓練需要，於符合特別限制情形下，得使十六歲以上未滿十八歲者參與輻射作業。
(輻防法第14條第1項)
2. 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，有接受之義務。
(輻防法第14條第5項)
3. 輻射工作人員對於體格檢查、定期檢查、特別醫護監護，有接受之義務。
(輻防法第16條第7項)

(六)放射性物質、可發生游離輻射 設備或輻射作業之管理

「放射性物質」及「可發生游離輻射設備」，
可分為許可類、登記備查類。

輻射源管理

項目	說明	設備		密封物質		非密封物質	
		登記	許可	登記	許可	登記	許可
輻射安全測試報告	首次轉入或進口時執行，若為放射性物質需含擦拭報告	√	√	√	√	√	√
年度偵測	許可類每年度需執行一次		√		√		√
5年換照	許可類每5年進行換照(自行進行輻射安全測試報告，原能會派員檢查)		√		√		√
輻射安全測試報告(每5年)	登記類每5年自行進行輻射安全測試(報告留存備查)	√		√		√	
定期擦拭報告	密封射源(依法規頻率) 非密封射源作業場所(每週或每次作業後)			√	√	√	√
每月動態申報	物質執照每月申報			√	√		
廢水廢氣報告	非密封作業場所每半年申報					√	√

(七) 審查、發照

1. 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。
(輻防法第29條第1項)
2. 經指定應申請許可者，應向主管機關申請審查，經許可或發給許可證後，始得進行輻射作業。
(輻防法第29條第2項)
3. 經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業。
(輻防法第29條第3項)

4. 物質、設備或作業涉及醫用者，並應符合中央衛生法規之規定。
(輻防法第29條第6項)

5. 放射性物質之生產與其設施之建造及可發生游離輻射設備之製造，
非經向主管機關申請審查，發給許可證，不得為之。
(輻防法第30條第6項)

(八) 要求合格人員

- 1.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。

(輻防法第31條第1項)

(1).輻射防護師或輻射防護員

(2).領有輻射安全證書者

(3).放射科醫師或放射師

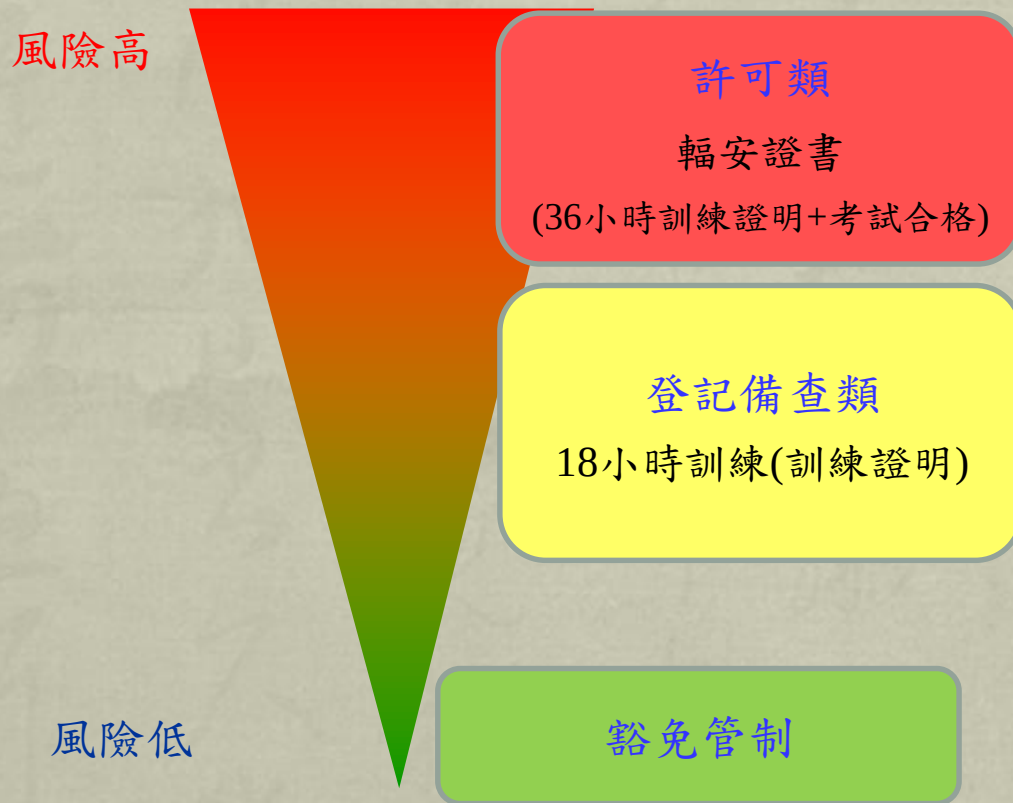
(4).18小時以訓練取代輻射安全證書者

輻防相關證照

證書類型	18小時訓練取代證書	輻射安全證書	輻射防護員	輻射防護師
取得參加考試資格之訓練時數	18小時 或 輻防相關課程2學分以上	36小時 或 輻防相關課程4學分以上	108小時 或 輻防相關課程6學分以上(理、工、醫、農科系畢業)	144小時 或 輻防相關課程8學分以上(理、工、醫、農科系畢業)
訓練辦理單位	輻射防護訓練業務者 或設施經營者	輻射防護訓練業務者	輻射防護訓練業務者	輻射防護訓練業務者
	設施經營者辦理訓練前檢具參訓人員姓名、訓練時間及地點、訓練課程及時數、師資之資料，報請主管機關備查。相關資料並應記錄及保存至少十年			
考試辦理機關	輻射防護訓練業務者	原子能委員會	原子能委員會	原子能委員會
資格取得	訓練合格即取得	考試及格並向本會申請取得輻安證書	考試及格＋一定期間之輻防工作訓練，並向本會申請取得證書	考試及格＋一定期間之輻防工作訓練，並向本會申請取得證書

■ 操作人員資格

年齡限制: 以年滿18歲為主，16-18歲(教學或訓練，劑量限度另有規定)。



取得訓練證明之方式:

- 參加訓練業者課程
(18小時/36小時)
- 單位自行辦理課程
(18小時)

(九) 換照

- 1.核發之許可證，其有效期間最長為五年。期滿需繼續輻射作業者，應於屆滿前，依主管機關規定期限申請換發。
(輻防法第32條第1項)
- 2.許可證有效期間內，設施經營者應對放射性物質、可發生游離輻射設備或其設施，每年至少偵測一次，提報主管機關偵測證明備查，
(輻防法第32條第3項)
- 3.許可證或登記備查之記載事項有變更者，設施經營者應自事實發生之日起三十日內，向主管機關申請變更登記。
(輻防法第33條)

(十) 停止使用與在使用

1.放射性物質、可發生游離輻射設備之使用或其生產製造設施之運轉，其所需具備之安全條件與原核准內容不符者，設施經營者應向主管機關申請核准停止使用或運轉，並依核准之方式封存或保管。
(輻防法第34條第1項)

2.前項停止使用之放射性物質、可發生游離輻射設備或停止運轉之生產製造設施，其再使用或再運轉，應先報請主管機關核准，始得為之。
(輻防法第34條第2項)

(1).未依第三十四條第一項規定，報請主管機關核准停止使用或運轉，持續達一年以上。

(2).核准停止使用或運轉期間，經主管機關認定有污染環境、危害人體健康且無法改善或已不堪使用。

(3).經主管機關廢止其許可證。

(十一) 永久停止使用

1.放射性物質、可發生游離輻射設備之永久停止使用或其生產製造設施之永久停止運轉，設施經營者應將其放射性物質或可發生游離輻射設備列冊陳報主管機關，並退回原製造或銷售者、轉讓、以放射性廢棄物處理或依主管機關規定之方式處理，其處理期間不得超過三個月。但經主管機關核准者，得延長之。

(輻防法第35條第1項)

2.放射性物質、可發生游離輻射設備或其生產製造設施有下列情形之一者，視為永久停止使用或運轉，應依前條之規定辦理。

(1).未依第三十四條第一項規定，報請主管機關核准停止使用或運轉，持續達一年以上。

(2).核准停止使用或運轉期間，經主管機關認定有污染環境、危害人體健康且無法改善或已不堪使用。

(3).經主管機關廢止其許可證。

(十二) 游離輻射安全標準

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。

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。

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。

游離輻射防護標準

	輻射作人員職業 曝露劑量限 度	16歲以上未滿 18歲輻射作業 或工作訓練曝 露年劑量限度	一般人之年劑 量限度
有效劑量	每5年不得超過100毫西弗，且任單一年內不得超過50毫西弗	不得超過6毫西弗	不得超過1毫西弗
眼球水晶體	單一年內等價劑量不得超過150毫西弗	等價劑量不得超過50毫西弗	等價劑量不得超過15毫西弗
皮膚或四肢	單一年內等價劑量不得超過500毫西弗	等價劑量不得超過150毫西弗	皮膚等價劑量不得超過50毫西弗 (一般人不談四肢)

(十三)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

第二章 申請輸入、轉讓、輸出、過境或轉口之許可

第 5 條

輸入放射性物質或可發生游離輻射設備者，申請人應填具申請書，並檢附下列文件，向主管機關申請審查合格後，發給許可：

- 一、原廠輻射安全測試中文或英文結果文件。
- 二、型錄及圖說。
- 三、放射性物質應另檢附運送說明相關文件。

申請輸入登記備查之可發生游離輻射設備者，應將前項第一款、第二款文件自行留存備查，免送主管機關審查。

同一廠牌型式之放射性物質或可發生游離輻射設備經審查核准者，再行申請輸入時，得免附第一項各款文件。

領有主管機關核發之非密封放射性物質使用許可證或經主管機關同意登記之設施經營者，申請輸入時，得免附第一項各款文件。

第 7 條

轉讓放射性物質或可發生游離輻射設備者，讓與人與受讓人應共同填具申請書，向主管機關申請審查合格後，發給許可。

前項申請轉讓放射性物質，應另檢附運送說明相關文件。

領有主管機關核發之非密封放射性物質使用許可證或經主管機關同意登記之設施經營者，申請非密封放射性物質轉讓時，得免附前項文件。

第 14 條

輸入、轉讓、輸出許可之有效期間為半年。

第三章 申請使用、安裝、改裝或持有之許可、許可證或登記備查

第 17 條

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**：

一、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。

第 25 條

經主管機關**同意登記**之放射性物質或可發生游離輻射設備，**其設施經營者應每五年於同意登記月份之前後三個月內，實施輻射安全測試，並留存紀錄備查。**

第 27 條

放射性物質或可發生游離輻射設備，遷移新址或變更作業場所而涉及安裝或改裝者，設施經營者應分別依第十八條、第二十二條及第二十三條安裝或改裝規定申請使用許可證或登記備查。

領有非密封放射性物質使用許可證或經主管機關同意登記之設施經營者，增加使用場所、核種數量或活度，應分別依第十九條及第二十四條規定申請使用許可證或登記備查。

叁、輻防法施行細則與輻防法 之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要 李鏡和

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源：游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第一章 總則	
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；本法未規定者，適用其他有關法律之規定。	
第2條 本法用詞定義如下： 一、游離輻射：指直接或間接使物質產生游離作用之電磁輻射或粒子輻射。 二、放射性：指核種自發衰變時釋出游離輻射之現象。 三、放射性物質：指可經由自發性核變化釋出游離輻射之物質。 四、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。 五、放射性廢棄物：指具有放射性或受放射性物質污染之廢棄物，包括備供最終處置之用過核子燃料。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

細則條文與子法

六、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。

七、背景輻射：指下列之游離輻射：

(一) 宇宙射線。

(二) 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。

(三) 一般人體組織中所含天然放射性物質釋出之游離輻射。

(四) 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。

八、曝露：指人體受游離輻射照射或接觸、攝入放射性物質之過程。

九、職業曝露：指從事輻射作業所受之曝露。

一〇、醫療曝露：指在醫療過程中病人及其協助者所接受之曝露。

一一、緊急曝露：指發生事故之時或之後，為搶救遇險人員，阻止事態擴大或其他緊急情況，而有組織且自願接受之曝露。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

細則條文與子法

- 一二、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。
- 一三、干預：指影響既存輻射源與受曝露人間之曝露途徑，以減少個人或集體曝露所採取之措施。
- 一四、設施經營者：指經主管機關許可、發給許可證或登記備查，經營輻射作業相關業務者。
- 一五、雇主：指僱用人員從事輻射作業相關業務者。
- 一六、輻射工作人員：指受僱或自僱經常從事輻射作業，並認知會接受曝露之人員。
- 一七、西弗：指國際單位制之人員劑量單位。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源：游離輻射防護法規精要——李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
一八、劑量限度：指人員因輻射作業所受之曝露，不應超過之劑量值。 一九、污染環境：指因輻射作業而改變空氣、水或土壤原有之放射性物質含量，致影響其正常用途，破壞自然生態或損害財物。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 3 條 本法之 主管機關 ，為行政院原子能委員會。	
第 4 條 天然放射性物質、背景輻射及其所造成之曝露，不適用本法之規定。但有影響公眾安全之虞者，主管機關得經公告之程序，將其納入管理；其辦法，由主管機關定之。	授權訂定 「天然放射性物質管理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第二章 輻射安全防護	
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，並應視實際需要訂定相關導則，規範輻射防護作業基準及人員劑量限度等游離輻射防護事項。	授權訂定 「游離輻射安全標準」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 6 條 為確保放射性物質運送之安全，主管機關應訂定放射性物質安全運送規則，規範放射性物質之包裝、包件、交運、運送、貯存作業及核准等事項。	授權訂定 「放射性物質運送規則」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..

第 7 條

設施經營者應依其輻射作業之規模及性質，依主管機關之規定，設輻射防護管理組織或置輻射防護人員，實施輻射防護作業。

前項輻射防護作業，設施經營者應先擬訂**輻射防護計畫**，報請主管機關核准後實施。未經核准前，不得進行輻射作業。

第一項輻射防護管理組織及人員之設置標準、輻射防護人員應具備之資格、證書之核發、有效期限、換發、補發、廢止及其他應遵行事項之管理辦法，由主管機關會商有關機關定之。

細則條文與子法

授權訂定

「輻射防護管理組織及輻射人員設置標準」、「輻射防護人員管理辦法」細則：

第 2 條 設施經營者依本法第七條第二項規定擬訂輻射防護計畫，應參酌下列事項規劃：

- 一、輻射防護管理組織及權責。
- 二、人員防護。
- 三、醫務監護。
- 四、地區管制。
- 五、輻射源管制。
- 六、放射性物質廢棄。
- 七、意外事故處理。
- 八、合理抑低措施。
- 九、紀錄保存。
- 一〇、其他主管機關指定之事項。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 8 條 設施經營者應確保其輻射作業對輻射工作場所以外地區造成之輻射強度與水中、空氣中及污水下水道中所含放射性物質之濃度，不超過游離輻射防護安全標準之規定。 前項污水下水道不包括設施經營者擁有或營運之污水處理設施、腐化槽及過濾池。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

第 9 條

輻射工作場所排放含放射性物質之廢氣或廢水者，設施經營者應實施輻射安全評估，並報請主管機關核准後，始得為之。

前項排放，應依主管機關之規定記錄及申報並保存之。

細則條文與子法

細則：

第 3 條 設施經營者依本法第九條第一項規定實施輻射安全評估，應以書面載明下列事項，向主管機關申請核准：

- 一、輻射作業說明。
- 二、計劃排放廢氣或廢水所含放射性物質之性質、種類、數量、核種及活度。
- 三、場所外圍情況描述。
- 四、防止環境污染之監測設備與處理程序及設計。
- 五、其他主管機關指定之事項。設施經營者依本法第九條第二項規定記錄含放射性物質廢氣或廢水之排放，應載明排放之日期、所含放射性物質之種類、數量、核種、活度、監測設備及其校正日期。

前項排放紀錄，除報經主管機關核准者外，應於每年七月一日至十五日及次年一月一日至十五日之期間內向主管機關申報；其保存期限，除屬核子設施者為十年外，餘均為三年。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

第 10 條

設施經營者應依主管機關規定，依其**輻射工作場所之設施、輻射作業特性及輻射曝露程度**，劃分輻射工作場所為**管制區及監測區**。管制區內應採取管制措施；監測區內應為必要之輻射監測，輻射工作場所外應實施環境輻射監測。

前項場所劃分、管制、輻射監測及場所外環境輻射監測，應擬訂計畫，報請主管機關核准後實施。未經核准前，不得進行輻射作業。

第一項環境輻射監測結果，應依主管機關之規定記錄及申報並保存之。

第二項計畫擬訂及其作業之準則，由主管機關定之。

細則條文與子法

授權訂定

「輻射工作場所管理與場所外境輻射監測作業準則」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 11 條 主管機關得隨時派員檢查輻射作業及其場所；不合規定者，應令其限期改善；未於期限內改善者，得令其停止全部或一部之作業；情節重大者，並得逕予廢止其許可證。 主管機關為前項處分時，應以書面敘明理由。但情況急迫時，得先以口頭為之，並於處分後七日內補行送達處分書。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

細則條文與子法

第 12 條

輻射工作場所發生重大輻射意外事故且情況急迫時，為防止災害發生或繼續擴大，以維護公眾健康及安全，設施經營者得依主管機關之規定採行緊急曝露。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

第 13 條*(天條)

設施經營者於下列事故發生時，應採取必要之防護措施，並立即通知主管機關：

- 一、人員接受之劑量超過游離輻射防護安全標準之規定者。
- 二、輻射工作場所以外地區之輻射強度或其水中、空氣中或污水下水道中所含放射性物質之濃度超過游離輻射防護安全標準之規定者。本款污水下水道不包括設施經營者擁有或營運之污水處理設施、腐化槽及過濾池。
- 三、放射性物質遺失或遭竊者。
- 四、其他經主管機關指定之重大輻射事故。

主管機關於接獲前項通知後，應派員檢查，並得命其停止與該事故有關之全部或一部之作業。

第一項事故發生後，設施經營者除應依相關規定負責清理外，並應依規定實施調查、分析、記錄及於期限內向主管機關提出報告。

設施經營者於第一項之事故發生時，除採取必要之防護措施外，非經主管機關核准，不得移動或破壞現場。

細則條文與子法

細則：

第 4 條 設施經營者依本法第十三條第三項規定向主管機關提出實施調查、分析及記錄之報告，應載明下列事項：

- 一、含人、事、時、地、物之事故描述。
- 二、事故原因分析。
- 三、輻射影響評估。
- 四、事故處理經過、善後措施及偵測紀錄。
- 五、檢討改善及防範措施。
- 六、其他經主管機關指定之事項。

前項報告，除報經主管機關核准者外，應於事故發生之日起或自知悉之日起三十日內，向主管機關提出之。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

第 14 條

從事或參與輻射作業之人員，以年滿十八歲者為限。但基於教學或工作訓練需要，於符合特別限制情形下，得使十六歲以上未滿十八歲者參與輻射作業。

任何人不得令未滿十六歲者從事或參與輻射作業。

雇主對告知懷孕之女性輻射工作人員，應即檢討其工作條件，以確保妊娠期間胚胎或胎兒所受之曝露不超過游離輻射防護安全標準之規定；其有超過之虞者，雇主應改善其工作條件或對其工作為適當之調整。

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。

第一項但書規定之特別限制情形與第四項教育訓練之實施及其紀錄保存等事項，由主管機關會商有關機關定之。

細則條文與子法

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，並保存紀錄：

- 一、輻射基礎課程。
- 二、輻射度量及劑量。
- 三、輻射生物效應。
- 四、輻射防護課程。
- 五、原子能相關法規。
- 六、安全作業程序及工作守則。
- 七、主管機關提供之相關資訊。

前項訓練之授課人員，應由輻射防護人員，或於教育部認可之國內、外大專校院相關科系畢業，且在公、私立機構、學校、研究單位從事輻射防護實務工作五年以上之人員擔任。

依第一項規定所為之紀錄，應記載參加訓練人員之姓名與參加訓練之時間、地點、時數、訓練科目、授課人員及授課方式等相關資料，並至少保存十年。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

第 15 條

為確保輻射工作人員所受職業曝露不超過劑量限度並合理抑低，雇主應對輻射工作人員實施個別劑量監測。但經評估輻射作業對輻射工作人員一年之曝露不可能超過劑量限度之一定比例者，得以作業環境監測或個別劑量抽樣監測代之。

前項但書規定之一定比例，由主管機關定之。

第一項監測之度量及評定，應由主管機關認可之人員劑量評定機構辦理；人員劑量評定機構認可及管理之辦法，由主管機關定之。

雇主對輻射工作人員實施劑量監測結果，應依主管機關之規定記錄、保存、告知當事人。

主管機關為統計、分析輻射工作人員劑量，得自行或委託有關機關(構)、學校或團體設置人員劑量資料庫。

細則條文與子法

授權訂定

「人員輻射劑量評定機構認可及管理辦法」

細則

第 6 條

本法第十五條第一項但書所定劑量限度之一定比例，為劑量限度之十分之三；其有效劑量為六毫西弗，眼球水晶體之等價劑量為五十毫西弗，皮膚或四肢之等價劑量為一百五十毫西弗。

本法第十五條第一項但書所稱作業環境監測，指作業場所具備有用於監測工作位置之輻射劑量（率）監測器，且其監測結果足以代表輻射工作人員所接受之劑量。

第 7 條 雇主依本法第十五條第一項規定對輻射工作人員實施個別劑量監測，應記錄每一輻射工作人員之職業曝露歷史紀錄，並依規定定期及逐年記錄每一輻射工作人員之職業曝露紀錄。

前項紀錄，雇主應自輻射工作人員離職或停止參與輻射工作之日起，至少保存三十年，並至輻射工作人員年齡超過七十五歲。輻射工作人員離職時，雇主應向其提供第一項之紀錄。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

細則條文與子法

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。

前項輻射工作人員經特別健康檢查後，雇主應就其特別健康檢查結果、曝露歷史及健康狀況等徵詢醫師、輻射防護人員或專家之建議後，為適當之工作安排。

第一項健康檢查及第二項**特別醫務監護之費用**，由雇主負擔。

第一項體格檢查、健康檢查及第二項特別醫務監護之紀錄，雇主應依主管機關之規定保存。

第二項所定特別健康檢查，其檢查項目由主管機關會同中央衛生主管機關定之。

輻射工作人員對於第一項之檢查及第二項之**特別醫務監護**，有接受之義務。

細則

第 8 條 本法第十六條第一項所定之體格檢查、定期健康檢查及第五項之紀錄保存，準用勞工健康保護規則之規定。

第 9 條 本法第十六條第二項所稱意外曝露，指於不可預料情況下接受超過劑量限度之曝露；所稱劑量，指有效劑量。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..

第 17 條

為提昇輻射醫療之品質，減少病人可能接受之曝露，醫療機構使用經主管機關公告應實施醫療曝露品質保證之放射性物質、可發生游離輻射設備或相關設施，應依醫療曝露品質保證標準擬訂醫療曝露品質保證計畫，報請主管機關核准後始得為之。

醫療機構應就其規模及性質，依規定設醫療曝露品質保證組織、專業人員或委託相關機構，辦理前項醫療曝露品質保證計畫相關事項。

第一項醫療曝露品質保證標準與前項醫療曝露品質保證組織、專業人員設置及委託相關機構之管理辦法，由主管機關會同中央衛生主管機關定之。

細則條文與子法

授權訂定

「輻射醫療曝露品質保證組織與專業人員設置及委託相關機構管理辦法」

「輻射醫療曝露品質保證標準」

細則：

第 10 條 本法第十七條第一項、第二項及第十八條所稱醫療機構，指依醫療法規定供醫師執行醫療業務之機構及依醫事放射師法規定設立之醫事放射所。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	法細則條文與子法
第 18 條 醫療機構對於協助病人接受輻射醫療者，其有遭受曝露之虞時，應事前告知及施以適當之輻射防護。	
第 19 條 主管機關應選定適當場所，設置輻射監測設施及採樣，從事環境輻射監測，並公開監測結果。	
第 20 條 主管機關發現公私場所有遭受輻射曝露之虞時，得派員攜帶證明文件進入檢查或偵測其游離輻射狀況，並得要求該場所之所有人、使用人、管理人或其他代表人提供有關資料。 前項之檢查或偵測，主管機關得會同有關機關為之。	
第 21 條 商品非經主管機關許可，不得添加放射性物質。 前項放射性物質之添加量，不得逾越主管機關核准之許可量。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 22 條 商品對人體造成之輻射劑量，於有影響公眾健康之虞時，主管機關應會同有關機關實施輻射檢查或偵測。 前項商品經檢查或偵測結果，如有違反標準或有危害公眾健康者，主管機關應公告各該商品品名及其相關資料，並命該商品之製造者、經銷者或持有者為一定之處理。 前項標準，由主管機關會商有關機關定之。	授權訂定 「商品輻射限量標準」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源：游離輻射防護法規精要——李鏡和

游離輻射防護法..

第 23 條

為防止建築材料遭受放射性污染，主管機關於必要時，得要求相關廠商實施原料及產品之輻射檢查、偵測或出具無放射性污染證明。其管理辦法，由主管機關定之。

前項原料、產品之輻射檢查、偵測及無放射性污染證明之出具，應依主管機關之規定或委託主管機關認可之機關(構)、學校或團體為之。

第一項建築材料經檢查或偵測結果，如有違反前條第三項規定之標準者，依前條第二項規定處理。

第二項之機關(構)、學校或團體執行第一項所訂業務應以善良管理人之注意為之，並負忠實義務。

細則條文與子法

授權訂定

「放射性污染建築物事件防範級處理辦法」

細則：

第 11 條 本法第二十三條第二項所稱主管機關認可之機關(構)、學校或團體，指依輻射防護服務相關業務管理辦法之規定，報經主管機關認可從事輻射防護偵測業務之機關(構)、學校或團體。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 24 條 直轄市、縣(市)主管建築機關對於施工中之建築物所使用之鋼筋或鋼骨，得指定承造人會同監造人提出無放射性污染證明。 主管機關發現建築物遭受放射性污染時，應立即通知該建築物之居民及所有人。 前項建築物之輻射劑量達一定劑量者，主管機關應造冊函送該管直轄市、縣(市)地政主管機關將相關資料建檔，並開放民眾查詢。 放射性污染建築物事件防範及處理之辦法，由主管機關定之。	授權訂定 「放射性污染建築物事件防範級處理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 25 條 為保障民眾生命財產安全，建築物有遭受放射性污染之虞者，其移轉應出示輻射偵測證明。 前項有遭受放射性污染之虞之建築物，主管機關應每年及視實際狀況公告之。 第一項之輻射偵測證明，應由主管機關或經主管機關認可之機關(構)或團體開立之。其辦法，由主管機關定之。 前項之機關(構)或團體執行第三項所訂業務，應以善良管理人之注意為之，並負忠實義務。	授權訂定 「放射性污染建築物事件防範級處理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 26 條 從事輻射防護服務相關業務者，應報請主管機關認可後始得為之。 前項輻射防護服務相關業務之項目、應具備之條件、認可之程序、認可證之核發、換發、補發、廢止及其他應遵行事項之管理辦法，由主管機關定之。 從事第一項業務者執行業務時，應以善良管理人之注意為之，並負忠實義務。	授權訂定 「輻射防護服務相關業務管理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 27 條 發生核子事故以外之輻射公害事件，而有危害公眾健康及安全或有危害之虞者，主管機關得會同有關機關採行干預措施；必要時，並得限制人車進出或強制疏散區域內人車。 主管機關對前項輻射公害事件，得訂定干預標準及處理辦法。 主管機關採行第一項干預措施所支出之各項費用，於知有負賠償義務之人時，應向其求償。對於第一項之干預措施，不得規避、妨礙或拒絕。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 28 條 主管機關為達成本法管制目的，得就有關輻射防護事項要求設施經營者、雇主或輻射防護服務業者定期提出報告。 前項報告之項目、內容及提出期限，由主管機關定之。	授權訂定 「放射性污染建築物事件防範級處理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第三章 放射性物質、可發生游離輻射設備 或輻射作業之管理	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
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。 經指定應申請許可者，應向主管機關申請審查，經許可或發給許可證後，始得進行輻射作業。 經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業。 置有高活度放射性物質或高能量可發生游離輻射設備之高強度輻射設施之運轉，應由合格之運轉人員負責操作。 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。 第二項及第三項之物質、設備或作業涉及醫用者，並應符合中央衛生法規之規定。	授權訂定 「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」 「高強度輻射設施種類及運轉人員管理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源：游離輻射防護法規精要——李鏡和

游離輻射防護法..

第 30 條

放射性物質之生產與其設施之建造及可發生游離輻射設備之製造，非經向主管機關申請審查，發給許可證，不得為之。

放射性物質生產設施之運轉，應由合格之運轉人員負責操作；其資格、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。

第一項生產或製造，應於開始之日起十五日內，報請主管機關備查；其生產紀錄或製造紀錄與庫存及銷售紀錄，應定期報送主管機關；主管機關得隨時派員檢查之。

第一項放射性物質之生產或可發生游離輻射設備之製造，屬於醫療用途者，並應符合中央衛生法規之規定。

細則條文與子法

授權訂定

「放射性物質生產設施運轉人員管理辦法」

細則：

第 12 條 依本法第三十條第一項規定申請放射性物質生產設施之建造許可者，應於預定建造日期六個月前填具申請書，並檢附下列文件及資料，向主管機關申請審查：

- 一、公司登記證明文件或其他設立證件。
- 二、放射性物質之物理、化學及輻射性質。
- 三、生產方法、生產計畫及銷售計畫。
- 四、品質保證計畫。
- 五、輻射安全評估報告、輻射防護計畫及安全作業程序。
- 六、放射性廢棄物處理計畫。
- 七、其他主管機關指定之文件或資料。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..

細則條文與子法..

第 13 條 依本法第三十條第一項規定申請放射性物質之生產許可者，應於生產設施建造完成後先提出試運轉計畫、運轉人員及輻射防護人員證書影本，向主管機關申請核准進行試運轉。

依前項規定進行試運轉完成後，應於計畫開始生產日期三個月前填具申請書，並檢附試運轉報告，向主管機關申請生產許可審查。

第 14 條 依本法第三十條第一項規定申請可發生游離輻射設備之製造許可者，應於預定製造日期六個月前填具申請書，並檢附下列文件及資料，向主管機關申請審查：

- 一、公司登記證明文件或其他設立證件。
- 二、產品構造、圖說與其發生游離輻射之原理及設備原型。
- 三、製造計畫及銷售計畫。
- 四、檢驗規格與方法及品質保證計畫。
- 五、輻射安全評估報告及輻射防護計畫。
- 六、運轉人員執照及輻射防護人員證書影本。
- 七、測試場所屏蔽設計資料。
- 八、其他主管機關指定之文件或資料。

第 15 條 依本法第三十條第三項規定應定期報送主管機關之各項紀錄，除報經主管機關核准者外，應於每季結束後一個月內，報送主管機關，並至少保存五年。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
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；其一定活度或一定能量之限值，由主管機關定之。 第一項人員之資格、訓練、證書或執照之核發、有效期限、換發、補發、廢止與前項訓練取代證書或執照之條件及其他應遵行事項之管理辦法，由主管機關會商有關機關定之。	授權訂定 「放射性物質與可發生游離輻射設備操作人員管理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源：游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

細則條文與子法

第 32 條

依第二十九條第二項規定核發之許可證，其有效期間最長為五年。期滿需繼續輻射作業者，應於屆滿前，依主管機關規定期限申請換發。

依第三十條第一項規定核發之許可證，其有效期間最長為十年。期滿需繼續生產或製造者，應於屆滿前，依主管機關規定期限申請換發。

前二項許可證有效期間內，設施經營者應對放射性物質、可發生游離輻射設備或其設施，每年至少偵測一次，提報主管機關偵測證明備查，偵測項目由主管機關定之。

細則：

第 16 條 依本法第三十二條第一項或第二項規定向主管機關申請換發許可證之期限如下：

- 一、第一項規定之申請期限為許可證有效期限屆滿前六十日至三十日。
- 二、第二項規定之申請期限為許可證有效期限屆滿前九個月至六個月。

第 17 條 依本法第三十二條第二項規定向主管機關申請換發許可證者，應填具申請書，並檢附下列文件及資料：

- 一、公司登記證明文件或其他設立證件。
- 二、輻射安全評估報告。

第 18 條 設施經營者依本法第三十二條第三項規定所為之偵測，除其他法規另有規定外，應於每年十二月三十一日前，將該年偵測證明提報主管機關備查。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 33 條 許可、許可證或登記備查之記載事項有變更者，設施經營者應自事實發生之日起三十日內，向主管機關申請變更登記。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

第 34 條

放射性物質、可發生游離輻射設備之使用或其生產製造設施之運轉，其所需具備之安全條件與原核准內容不符者，設施經營者應向主管機關申請核准停止使用或運轉，並依核准之方式封存或保管。

前項停止使用之放射性物質、可發生游離輻射設備或停止運轉之生產製造設施，其再使用或再運轉，應先報請主管機關核准，始得為之。

細則條文與子法

細則

第 19 條 本法第三十四條第一項所稱**安全條件與原核准內容不符者**，指有下列各款情形之一：

- 一、輻射作業場所依本法規定需由**合格人員負責操作**，其操作人員離職，**而未於三十日內補足者**。
- 二、輻射作業場所依本法第七條第一項規定設置之**輻射防護人員離職**，**而未於三個月內補足者**。
- 三、放射性物質之機具、可發生游離輻射設備或其生產製造設施**損壞**，**而未於六個月內修復者**。
- 四、放射性物質活度衰減至無法達成原申請目的之用途，**而未於六個月內更換者**。
- 五、因外力不可抗拒因素致輻射作業場所屏蔽或防止輻射洩漏設施損壞，而**未於六個月內修復者**。
- 六、其他經主管機關認定之情形。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
	第 20 條 依本法第三十四條第二項規定申請停止使用之放射性物質、可發生游離輻射設備或停止運轉之生產製造設施之再使用或再運轉，應檢附下列文件及資料，報請主管機關核准： 一、前條第一款情形為合格人員證書及在職證明。 二、前條第二款情形為輻射防護人員認可證明及在職證明。 三、前條第三款情形為設備測試報告。 四、前條第四款情形為放射性物質之證明文件及測試報告。 五、前條第五款情形為場所輻射安全測試報告。 六、前條第六款情形為主管機關指定之文件或資料。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法

第 35 條

放射性物質、可發生游離輻射設備之永久停止使用或其生產製造設施之永久停止運轉，設施經營者應將其放射性物質或可發生游離輻射設備列冊陳報主管機關，並退回原製造或銷售者、轉讓、以放射性廢棄物處理或依主管機關規定之方式處理，其處理期間不得超過三個月。但經主管機關核准者，得延長之。

前項之生產製造設施或第二十九條第四項之高強度輻射設施永久停止運轉後六個月內，設施經營者應擬訂設施廢棄之清理計畫，報請主管機關核准後實施，應於永久停止運轉後三年內完成。

前項清理計畫實施期間，主管機關得隨時派員檢查；實施完畢後，設施經營者應報請主管機關檢查。

細則條文與子法

細則

第 21 條 放射性物質、可發生游離輻射設備之永久停止使用或其生產製造設施之永久停止運轉，設施經營者依本法第三十五條第一項規定退回原製造或銷售者、轉讓或以放射性廢棄物處理時，應依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之規定辦理。

第 22 條 本法第三十五條第一項所稱主管機關規定之方式如下：

- 一、可發生游離輻射設備永久停止使用時，應報經主管機關核准，將主管機關指定之部分**自行破壞至不堪使用狀態，並拍照留存備查**或報請主管機關派員檢查。
- 二、非密封放射性物質使用設施及場所永久停止使用時，應依主管機關核准之計畫完成除污，並報請主管機關檢查。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
	第 23 條 設施經營者依本法第三十五條第二項規定擬訂設施廢棄清理計畫，應參酌 下列事項規劃： 一、組織與責任及人員之教育訓練。 二、設施之運轉歷史描述。 三、設施之輻射狀況評估。 四、輻射劑量評估及防護措施。 五、除污方案。 六、放射性物質廢棄處理方案。 七、輻射意外事件應變方案。 八、品質保證方案。 九、其他主管機關指定之事項。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 36 條 放射性物質、可發生游離輻射設備或其生產製造設施有下列情形之一者，視為永久停止使用或運轉，應依前條之規定辦理： 一、未依第三十四條第一項規定，報請主管機關核准停止使用或運轉，持續達一年以上。 二、核准停止使用或運轉期間，經主管機關認定有污染環境、危害人體健康且無法改善或已不堪使用。 三、經主管機關廢止其許可證。	
第 37 條 本章有關放射性物質之規定，於核子原料、核子燃料或放射性廢棄物不適用之。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 38 條 有下列情形之一者，處三年以下有期徒刑、拘役或科或併科新臺幣三百萬元以下罰金： 一、違反第七條第二項規定，擅自或未依核准之輻射防護計畫進行輻射作業，致嚴重污染環境。 二、違反第九條第一項規定，擅自排放含放射性物質之廢氣或廢水，致嚴重污染環境。 三、未依第二十九條第二項、第三項規定取得許可、許可證或經同意登記，擅自進行輻射作業，致嚴重污染環境。 四、未依第三十條第一項規定取得許可證，擅自進行生產或製造，致嚴重污染環境。 五、棄置放射性物質。 六、依本法規定有申報義務，明知為不實事項而申報或於業務上作成之文書為不實記載。 前項第一款至第四款所定嚴重污染環境之標準，由主管機關會同有關機關定之。	授權訂定 「嚴重汙染嚴重標準」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 五 章 附 則	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 51 條 本法規定由主管機關辦理之各項認可、訓練、檢查、偵測或監測，主管機關得委託有關機關(構)、學校或團體辦理。 前項認可、訓練、檢查、偵測或監測之項目及其實施辦法，由主管機關會商有關機關定之。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 52 條 主管機關依本法規定實施管制、核發證書、執照及受理各項申請，得分別收取審查費、檢查費、證書費及執照費；其費額，由主管機關定之。	授權訂定 「游離輻射防護管制收費標準」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 53 條 輻射源所產生之輻射無安全顧慮者，免依本法規定管制。 前項豁免管制標準，由主管機關定之。	授權訂定 「輻射源免管制標準」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 54 條 軍事機關之放射性物質、可發生游離輻射設備及其輻射作業之輻射防護及管制，應依本法由主管機關會同國防部另以辦法定之。	授權訂定 「軍事機關輻射防護及管制辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 55 條 本法施行前已設置之放射性物質、可發生游離輻射設備之生產、製造與其設施、輻射工作場所、已許可之輻射作業及已核發之人員執照、證明書，不符合本法規定者，應自本法施行之日起二年內完成改善、辦理補正或換發。但經主管機關同意者得延長之，延長以一年為限。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 56 條 本法施行細則，由主管機關定之。	授權訂定 「游離輻射防護法施行細則」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 57 條 本法施行日期，由行政院定之。	細則 第 24 條 本細則所定書表文件格式 由主管機關另定之。 第 25 條 本細則自本法施行之日行。 本細則修正條文自發布行。

肆、案例介紹

https://www.aec.gov.tw/%E8%BC%BB%E5%B0%84%E9%98%B2%E8%AD%B7/%E8%BC%B%E5%AE%89%E7%AE%A1%E5%88%B6/%E9%81%95%E6%B3%95%E8%99%95%E7%90%86%E6%A1%88%E4%BB%B6--4_28_117.html

肆、案例介紹

111/04/14	受處分人未經本會同意登記，擅自使用移動型X光機(術中治療用)進行輻射作業。	游離輻射防護法第29條第1項規定：「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。」同法第3項規定：「經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業。」	1.游離輻射防護法第43條第4款規定，處新臺幣10萬元以上50萬元以下罰鍰，並令其限期改善。 2.依行政罰法第18條規定，審酌受處分人違反行政法上義務行為應受責難程度、所生影響及因違反行政法上義務所得之利益，並考量其資力，裁處新臺幣20萬元罰鍰。
-----------	---------------------------------------	---	--

肆、案例介紹

110/05/18	受處分人僱用未具合格訓練資格之人員操作登記類放射性物質。	游離輻射防護法第31條第1項規定： 「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。」 同法第2項規定：「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；…」	1.游離輻射防護法第45條第4款規定，處新臺幣4萬元以上20萬元以下罰鍰，並令其限期改善。 2.審酌受處分人係因誤解操作人員資格規定，且已積極安排完成訓練，依法裁處最低罰鍰額度新臺幣4萬元。
109/10/08	受處分人使用停用之乳房X光攝影儀巡迴車進行乳房X光攝影等輻射作業。	游離輻射防護法第29條第3項規定 「經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業」	1.違反游離輻射防護法第43條第4款規定「未依第29條第3項規定經同意登記，擅自進行輻射作業。」，應處新臺幣10萬元以上50萬元以下罰鍰。 2.審酌受處分人係屬初次違規，且該儀器已向本會完成可發生游離輻射設備登記，爰違規情節尚屬輕微，依法裁處最低罰鍰額度，處新臺幣10萬元罰鍰。

肆、案例介紹

107/09/28	受處分人106年度未依游離輻射防護法第14條第5項規定接受輻射工作人員3小時繼續教育課程。	游離輻射防護法第14條第5項規定：「輻射工作人員對於前項教育訓練，有接受之義務。」	1.游離輻射防護法第46條第1款規定，處新台幣2萬元以下罰鍰。 2.受處分人依法裁處新臺幣2萬元罰鍰。
107/02/22	受處分人未依規定對在職輻射工作人員實施定期健康檢查。	違反游離輻射防護法第16條第1項規定「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。」	1.游離輻射防護法第45條第1項第2款規定，處新台幣4萬元以上20萬元以下罰鍰。 2.考量受處分人積極配合調查，並提出改善措施，依法裁處最低罰鍰額度新臺幣4萬元。
107/02/06	受處分人放射性物質生產設施未取得本會核發之放射性物質生產許可證，即擅自進行生產及輻射作業。	游離輻射防護法第29條第2項規定：「經指定應申請許可者，應向主管機關申請審查，經許可或發給許可證後，始得進行輻射作業。」 同法第30條第1項規定：「放射性物質之生產與其設施之建造及可發生游離輻射設備之製造，非經向主管機關申請審查，發給許可證，不得為之。」	1.游離輻射防護法第41條第5款及第6款規定，處新台幣60萬元以上300萬元以下罰鍰。 2.審酌受處分人於案後即停止違規行為，依法裁處最低罰鍰額度新臺幣60萬元。

肆、案例介紹

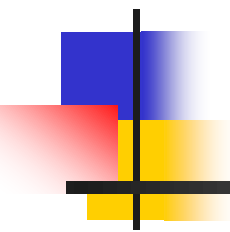
107/01/09	受處分人未經本會同意登記，即進口及轉讓可發生游離輻射設備。	違反游離輻射防護法第29條第3項規定「經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業。」	1.游離輻射防護法第43條第4款規定，處新台幣10萬元以上50萬元以下罰鍰。 2.考量受處分人積極配合，且未造成安全上危害，依法裁處最低罰鍰額度新臺幣10萬元。
106/11/21	受處分人未經本會同意登記，即轉讓及銷售可發生游離輻射設備。	違反游離輻射防護法第29條第3項規定「經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業。」	1.游離輻射防護法第43條第4款規定，處新台幣10萬元以上50萬元以下罰鍰。 2.考量受處分人積極配合，且未造成安全上危害，依法裁處最低罰鍰額度新臺幣10萬元。
106/11/21	受處分人未經本會同意登記，即擅自停止使用放射性物質。	違反游離輻射防護法第29條第3項規定「經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業。」	1.游離輻射防護法第43條第4款規定，處新台幣10萬元以上50萬元以下罰鍰。 2.考量受處分人積極配合，且未造成安全上危害，依法裁處最低罰鍰額度新臺幣10萬元。

總結--操作人員資格

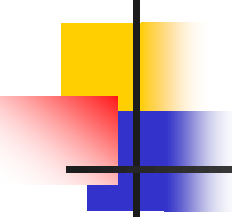
- + 操作主管機關核發許可證之放射性物質或可發生游離輻射設備，需領有主管機關核發之輻射安全證書；登記備查者至少須接受主管機關認可之輻射訓練18小時以上或大專校院以上學校取得有關輻射防護相關科目達二學分以上者。
- + 雇主對在職之輻射工作人員應定期實施教育訓練，且每人每年受訓時數須為三小時以上。
- + 參與有關放射性操作之人員年齡不得低於十八歲，但基於教學或工作訓練需要，而介於十六歲以上未滿十八歲之工作人員或學生，在符合特殊限制狀況下從事輻射相關工作。
- + 未滿十六歲者，不得從事或參與輻射作業。
- + 雇主對告知懷孕之女性輻射工作人員，應即檢討其工作條件，以確保妊娠期間胚胎或胎兒所受之曝露不超過游離輻射防護安全標準之規定；其有超過之虞者，雇主應改善其工作條件或對其工作為適當之調整。

總結--輻射安全要求

- + 游離輻射設備的防護需確保足以使其在管制區之劑量率 $< 10 \mu\text{Sv/h}$ 及監測區之劑量率 $< 0.5 \mu\text{Sv/h}$ 。
- + 使用許可類輻射源，每5年期限屆滿六十日至三十日內須進行輻射安全測試(測試報告須保留5年)，填具申請書，並檢附相關文件，向主管機關申請換發使用許可證。
- + 登記類輻射源經同意登記後，每5年屆期前後三個月內需進行輻射安全測試(報告須保留5年，留存備查)。
- + 備有適當輻射偵檢設備供測定各區域輻射強度，且該等設備均定期校正且保有紀錄。
- + 應實施適當之人員劑量監測措施。
- + 操作游離輻射源設備者應參加輻防講習，並保有訓練紀錄。



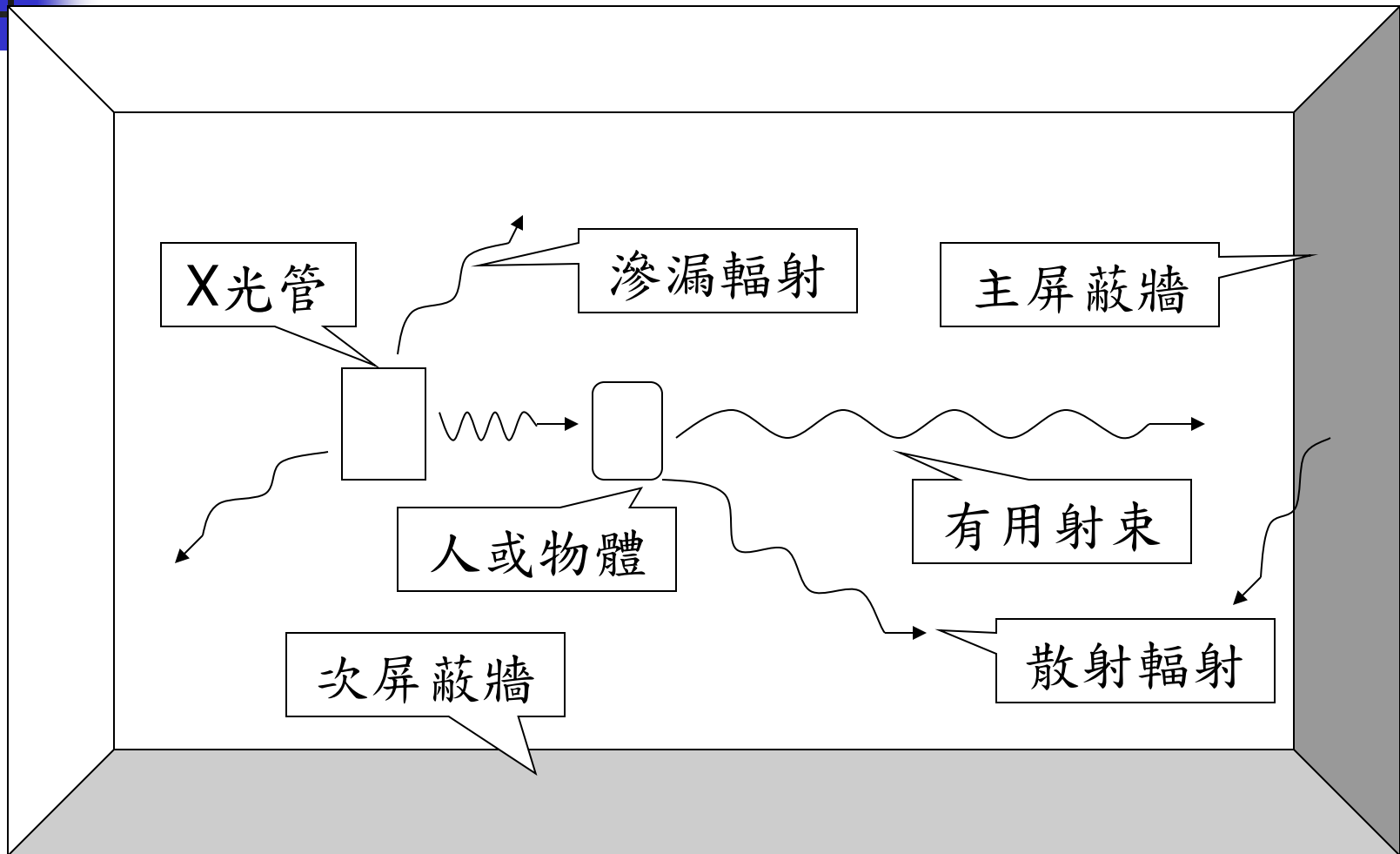
輻射防護

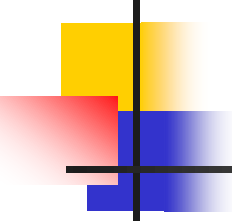


可發生游離輻射設備

- 游離輻射：指直接或間接使物質產生游離作用之電磁輻射或粒子輻射。
- 高能電磁輻射：即光子，如X、 γ 。
- 高能粒子輻射：主要指(1)重荷電粒子，如離子射束、 α ，(2)輕荷電粒子，如電子射束、 β ，與(3)中子。
- 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。

有用射束、散射輻射、滲漏輻射





半值層數目與光子衰減

- $I/I_0 = e^{-\mu x} = (1/2)^N$ ；其中，N代表欲使窄射束光子強度降為 I/I_0 所需半值層(HVL)數目。
- $I/I_0 = e^{-\mu x} = e^{-(0.693/\text{HVL}) x} = e^{-0.693 x/\text{HVL}}$
 $\therefore I/I_0 = e^{-0.693 x/\text{HVL}} = e^{-0.693 N}$
 $\ln(I/I_0) = -0.693 N$
 $N = -\ln(I/I_0)/0.693$

主防護屏蔽之設計

$$K = \frac{Pd^2}{WUT}$$

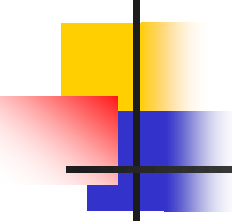
P : 最大許可曝露率，管制區為 0.04 R wk^{-1} ，非管制區為 0.002 R wk^{-1}

d : 屏蔽牆與X光管間之距離(m)

W : 工作負載，X光機管電流(mA) 與每週操作時間(min wk^{-1})之乘積，單位為 mA min wk^{-1}

U : 使用因數，X光機有用射柱朝向主屏蔽方向的時間分率

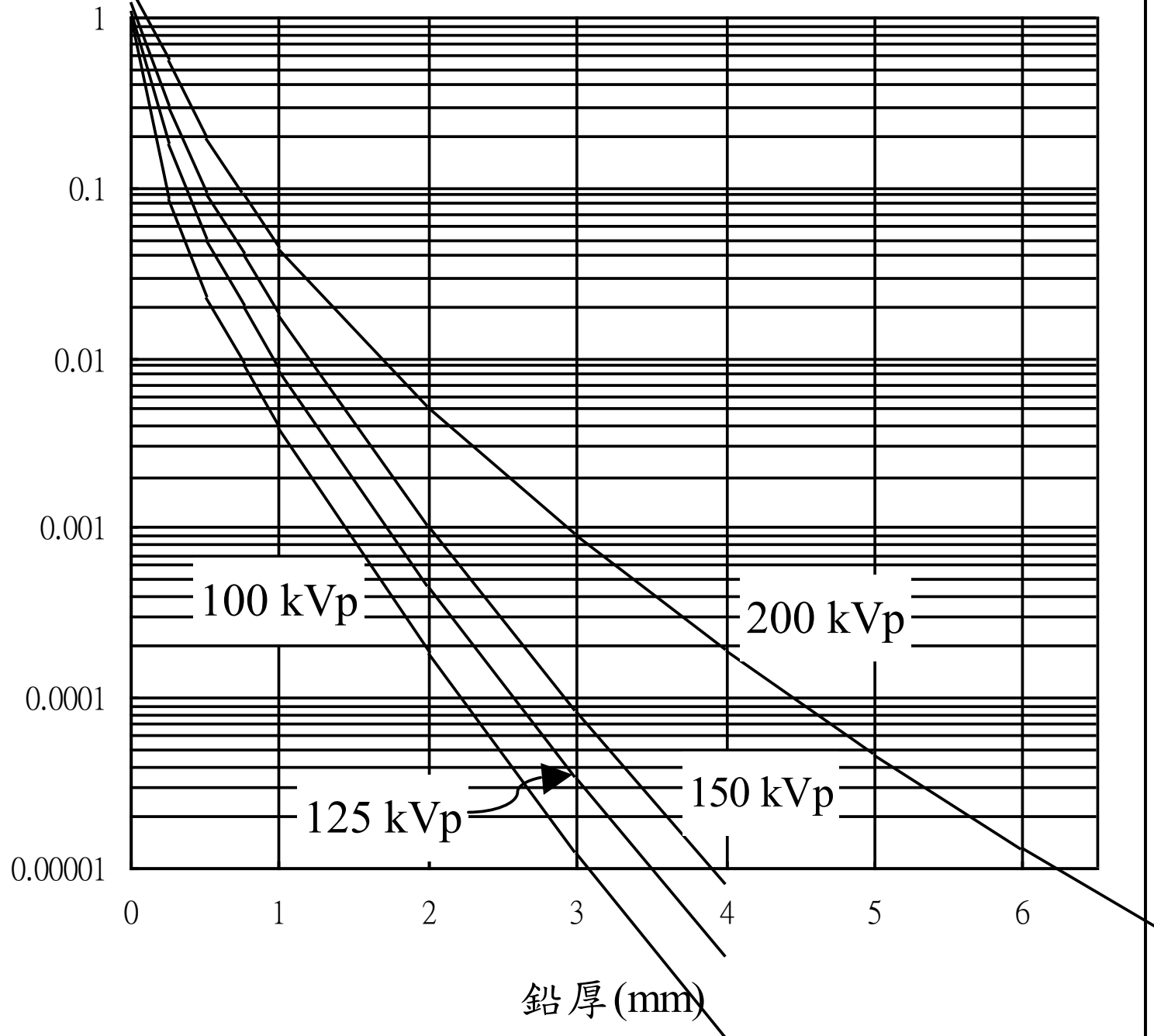
T : 佔用因數，屏蔽牆外人員平均逗留時間分率

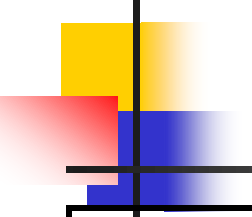


主防護屏蔽之設計

- K值也稱為穿透(或降低)因數，是使輻射線初曝露率降至最大許可曝露率之因數。K值單位為 $R \text{ m}^2 \text{ mA}^{-1} \text{ min}^{-1}$ 或 $R \text{ mA}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ at } 1 \text{ m}$ 。
- 通常空氣1 R暴露，人體為10 mSv曝露。
- 單能量光子半值層數(N)與穿透因數(X/X_0 或K)之相關式為 $K = (1/2)^N$ 。
- X光為多能量光子，穿透因數為K時所需屏蔽厚度不易計算，通常以查圖(經驗)方式求得，此圖通常為一半對數座標圖。

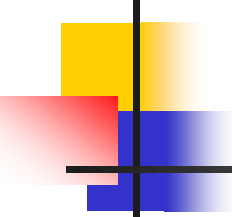
$K \text{ (R mA}^{-1} \text{ min}^{-1}) \text{ 1 m處}$





佔用因數

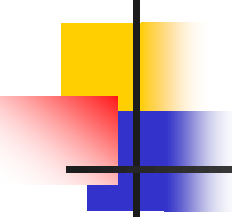
完全佔用 $T = 1$	工作區域，如辦公室、實驗室、商店、護理站等；活動空間，如兒童遊戲間；臨近建築物的佔用空間等
部份佔用 $T = 1/4$	走廊、休息室、有操作員的電梯等
偶爾佔用 $T = 1/16$	等候室、廁所、樓梯、無操作員的電梯等



美國放射防護委員會(NCRP)

147號報告(2005)建議

- 診斷與治療X光機屏蔽設計不同。
- 週劑量約束管制區由0.4 mSv改為每X光機0.1 mSv；非管制區仍為每X光機0.02 mSv。
- 距離：由X光機至屏蔽距離，改為X光機至樓上0.5 m後、隔牆0.3 m後、樓下地面1.7 m高處。
- 電壓：由單一值(太保守)改為分布值。
- 使用因數視攝影室分類詳訂。
- 佔用因數改為1、1/2、1/5、1/8、1/20、1/40。
- 考慮前屏蔽(檯、柵、匣等)的屏蔽效果。

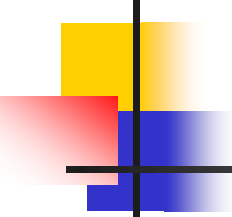


不同建材間屏蔽厚度的換算

密度法：

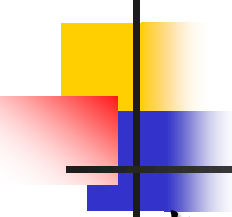
原子序近似的二不同建材，可利用密度法作厚度的換算，例如混凝土密度為 2.35 g cm^{-3} ，瓷磚密度為 1.9 g cm^{-3} ，則 10 cm 混凝土的屏蔽能力，約等於 $10 \text{ cm} \times 2.35 / 1.9 = 12.4 \text{ cm}$ 瓷磚的屏蔽能力。

屏蔽阻擋光子的能力，約與其原子序成平方或立方成正比，當建材間原子序差異較大時，此法的換算方式則誤差太大，不宜採用。



商用建材的平均密度

建材	密度(g cm ⁻³)	建材	密度(g cm ⁻³)
混凝土	2.35	鉛	11.4
軟磚	1.65	鉛玻璃	6.22
硬磚	2.05	沙灰泥	1.54
包裝土	1.5	鋼	7.8
花崗石	2.65	瓷磚	1.9

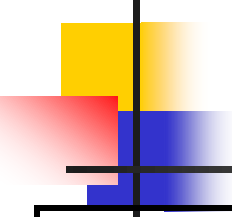


不同建材間屏蔽厚度的換算

半值層法：

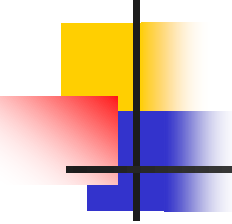
原子序差異較大的二不同建材，可利用半值層法作厚度的換算，例如以300 kVp X光為例，混凝土半值層為3.1 cm，鉛半值層為1.47 mm，則10 cm混凝土的屏蔽能力，約等於 $10/3.1 = 3.23$ HVLs，即 $3.23 \times 1.47 \text{ mm} = 4.74 \text{ mm}$ 鉛的屏蔽能力。

於是，常用建材的厚度，欲換算成鉛的厚度時，通常須先以密度法換算成混凝土的厚度，再以半值層法換算成鉛的厚度。



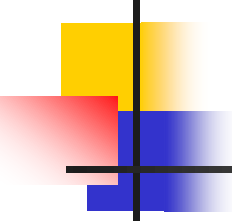
X光機鉛與混凝土的半值層

電壓巔值(kVp)	鉛半值層(mm)	混凝土半值層(cm)
50	0.06	0.43
70	0.17	0.84
100	0.27	1.6
125	0.28	2.0
150	0.30	2.24
200	0.52	2.5



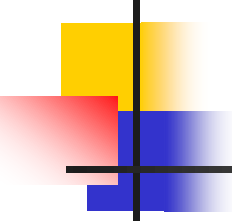
密封放射性物質

- 定義：密封在包殼或緊密覆蓋層裡的放射性物質。
- 該包殼或覆蓋層應具有足夠的強度，使之在設計上的使用條件和正常磨損下，不會有放射性物質散失出來。
- 非破壞檢驗所用放射性物質，可能因為工作性質或疏忽緣故遺失。



非密封放射性物質的特點(1/2)

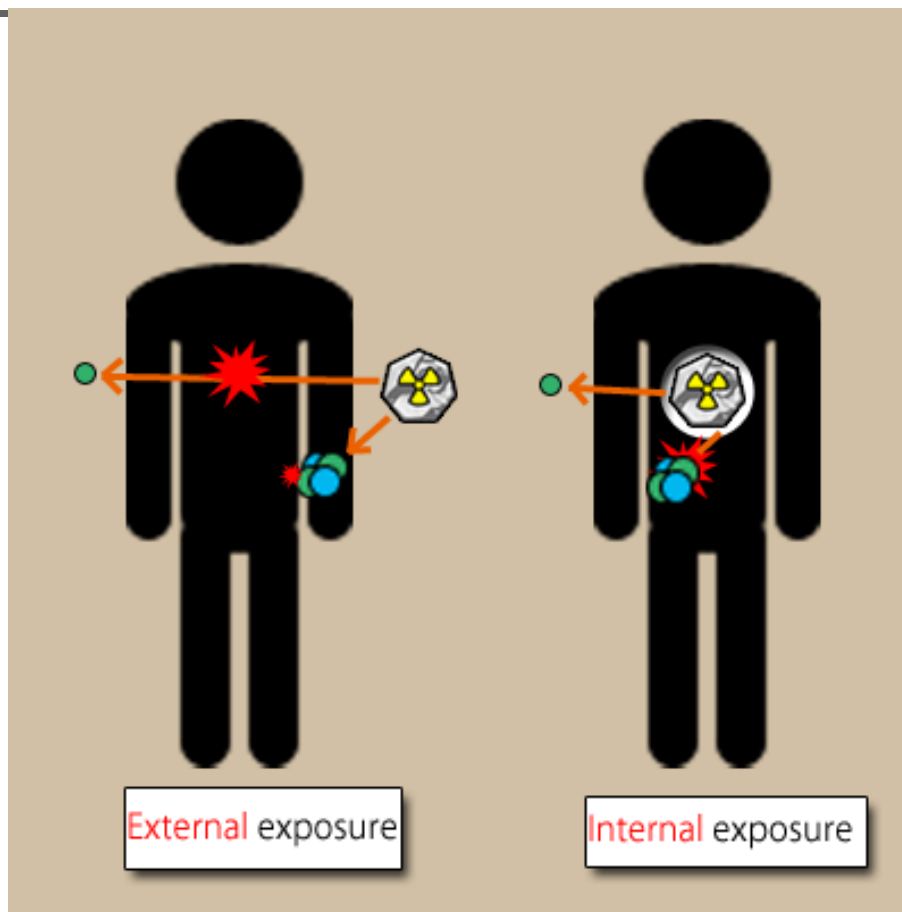
- 使用或操作過程中，其物理化學性質可能變化，如加溫時固體可變成液體，液體又可變成氣體。
- 放在容器中的放射性物質，當容器損壞時液體氣體就有漏出擴散之虞，使操作過程中的輻射危險性增加。
- 放射性物質攝入人體內而使體內受輻射照射時，稱為體內曝露。



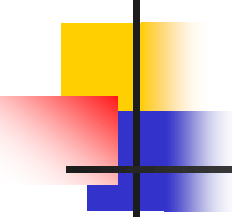
非密封放射性物質的特點(2/2)

- 放射性物質未攝入體內，但存在於周圍環境時，就構成體外曝露。
- 體內曝露：某些 α 與 β 放射核種，常侷限於體內的一定組織器官，因高能量轉移而造成較大的生理危害。
- 體外曝露：某些 α 與 β 放射核種因穿透力小，故體外曝露較不嚴重。體外曝露則須特別注意高穿透力的 γ 放射核種。

體外與體內曝露

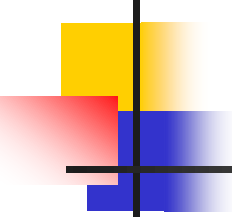


<http://contest.japias.jp/tqj14/140053/top/kiso/img/e-hibakuzu.gif>



密封放射性物質種類

- 以種類區分，計有阿伐、貝他、加馬、中子和低能量光子射源。
- 以幾何形狀區分，有點狀、線狀、面狀、圓柱狀、圓環狀。
- 以活度的精確度區分，有核對級(check)、操作級、參考級、標準級等不同級別的放射性物質。
- 以用途作區分，有醫學應用、工業程序控制用、工業照相用、加馬照射用、輻射儀表用、離子發生器用、放射測量用。

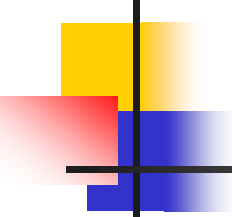


阿伐射源的防護

- 避免密封層震裂、摔壞、受酸鹼腐蝕。
- 經常檢查射源的外表有無阿伐放射性污染。
- 強活度阿伐射源常伴隨放射其他輻射，故須考慮其他輻射的防護。
- 防止遺失和被盜，不可隨便拆開或丟棄。

空氣	水(組織)	鋁	銅	鉛
59,000	74	34	14	2

7MeV 阿伐粒子的射程(μm)

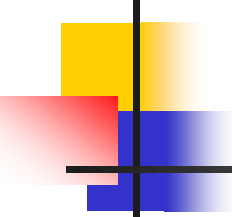


貝他射源的防護

- 貝他射源的內層包封材質或屏蔽應選用低原子序的材料，可減少制動輻射的產率。
- 射源窗的厚薄與貝他射線的能量有關，使用時應避免射源窗被刺破、磨損、腐蝕、震裂。
- 定期檢查射源的外表有無貝他放射性污染。

水(組織)	壓克力	玻璃	鋁	銅
3.9mm	3.2mm	1.8mm	1.1mm	0.2mm

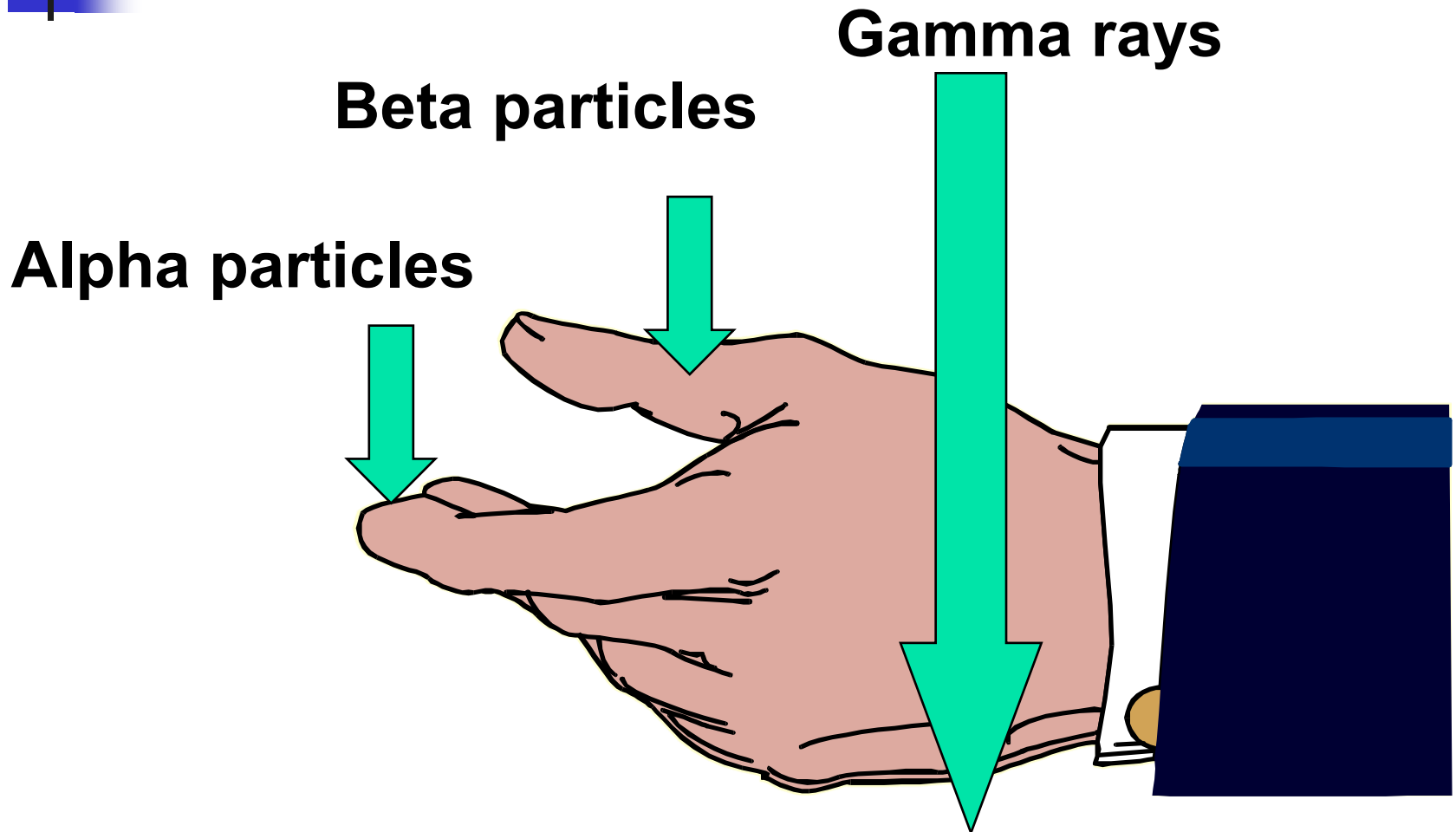
1MeV貝他射線的射程

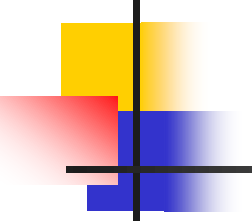


加馬射源的防護

- 加馬射線穿透力甚強，使用加馬射源要注重體外曝露的防護。
- 除符合TSD原則外，尚須注意：
 - 建立監測區和管制區
 - 適當的屏蔽：鉛或混凝土
 - 執行輻射監測
 - 設置連鎖保全系統
 - 建立保管、貯存和運送的程序

體外曝露的防護

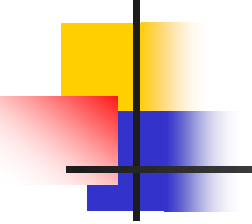




體內曝露的輻射防護

預防形成放射性污染的2C措施：

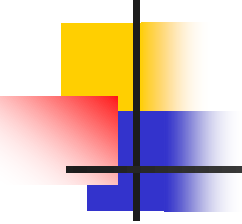
- **封閉(Contain)**：使放射性物質不與人體直接接觸。例如收納於容器、使用手套工具箱(glove box)等。
- **集中(Concentrate)**：集中管理，以預防分散放射性物質易造成的疏忽。例如實施放射性物質保管、將放射性物質濃縮後貯存等。



體內曝露的輻射防護

已形成放射性污染時的3D原則：

- **稀釋(Dilute)**：將受放射性污染的空氣或水稀釋至可接受範圍，然後排放。
- **分散(Disperse)**：將放射性污染的物質由空氣或水域加以分散。
- **除污(Decontaminate)**：對人體或物體遭受的放射性污染，利用各種除污方法，使附著的放射性污染減少。



體內曝露的輻射防護

若放射性核種已進入體內，降低體內曝露的處置方式：

- 減少吸收：例如皮膚除污、洗胃等。
- 增加排泄：例如大量液體補充、服用鈣片、碘化鉀、利尿劑等。
- 防止滯留：例如服用螯合劑等。

正當化判斷(1/8)

Doctor, don't you think I should have a new chest CT scan? Just to be on the safe side



No Ms Williams, I really think that this examination will not add something to the correct assessment of your condition

不，小姐，我不認為新的檢查會對你的情形增加評估的資訊。

醫生，基於安全考量，你認為我應該做一新的胸部電腦斷層？

Resist patient wishes to be examined when you feel it is not necessary

若認為檢查沒必要，應拒絕病患檢查的要求。

正當化判斷(2/8)

COUNTERTHINK 雙向思考

我應按下
何按鍵？

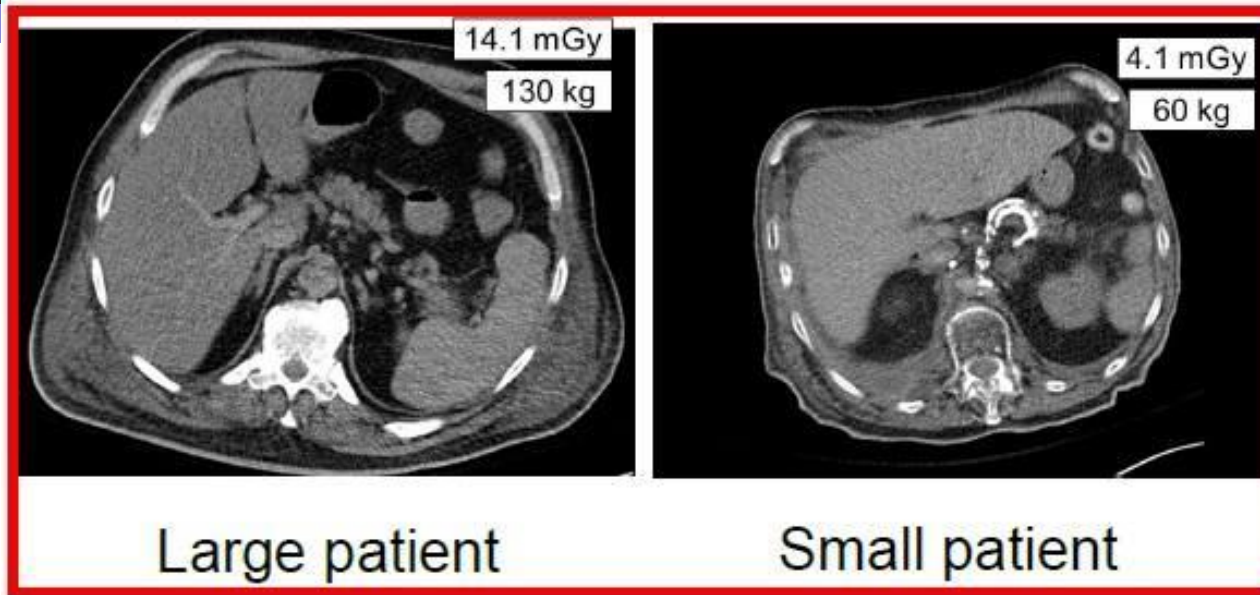


我們通常
都按下去。

癌症造成
篩檢癌症

乳攝儀5000
控制台

正當化判斷(3/8)



大體型病患

小體型病患

**Adjust exposure parameters
according to patient and body part**

依病患體型
與檢查部位
調整曝露參數

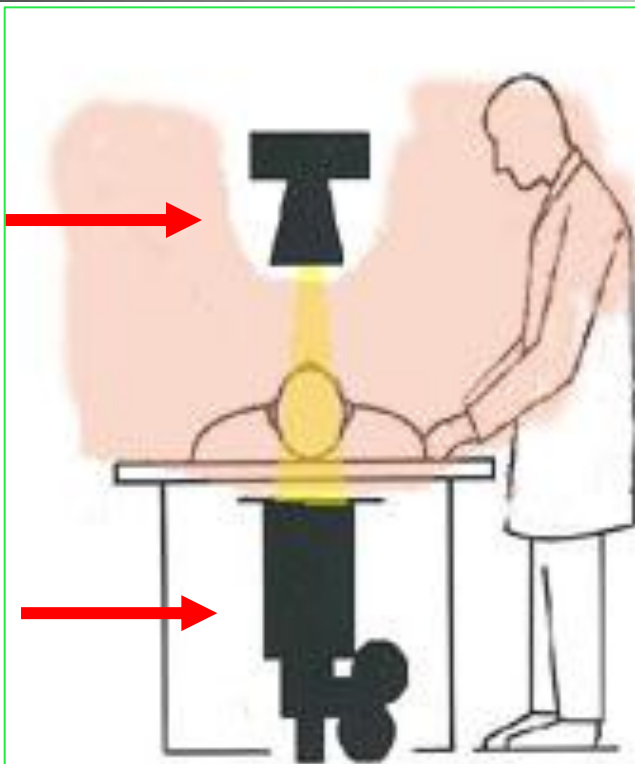
*Images courtesy of: MK Kalra, S. Singh, MGH Webster Center
for Advanced Research and Education in Radiation*

正當化判斷(4/8)

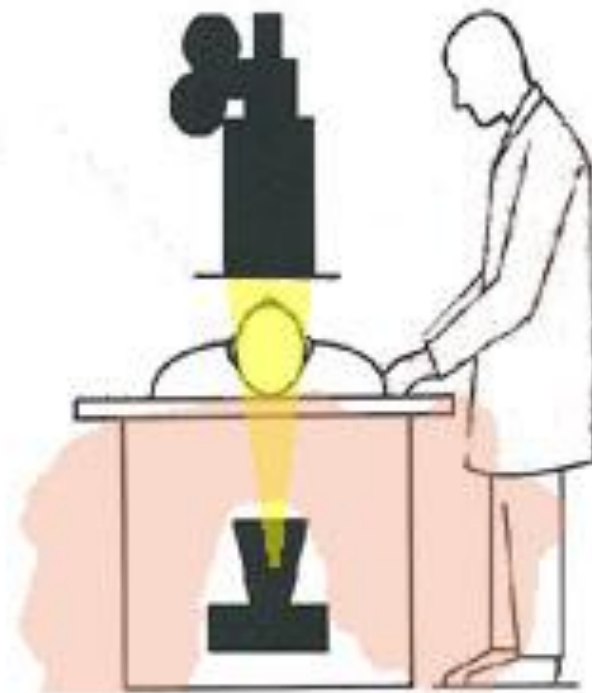
X光管

影像
接收器

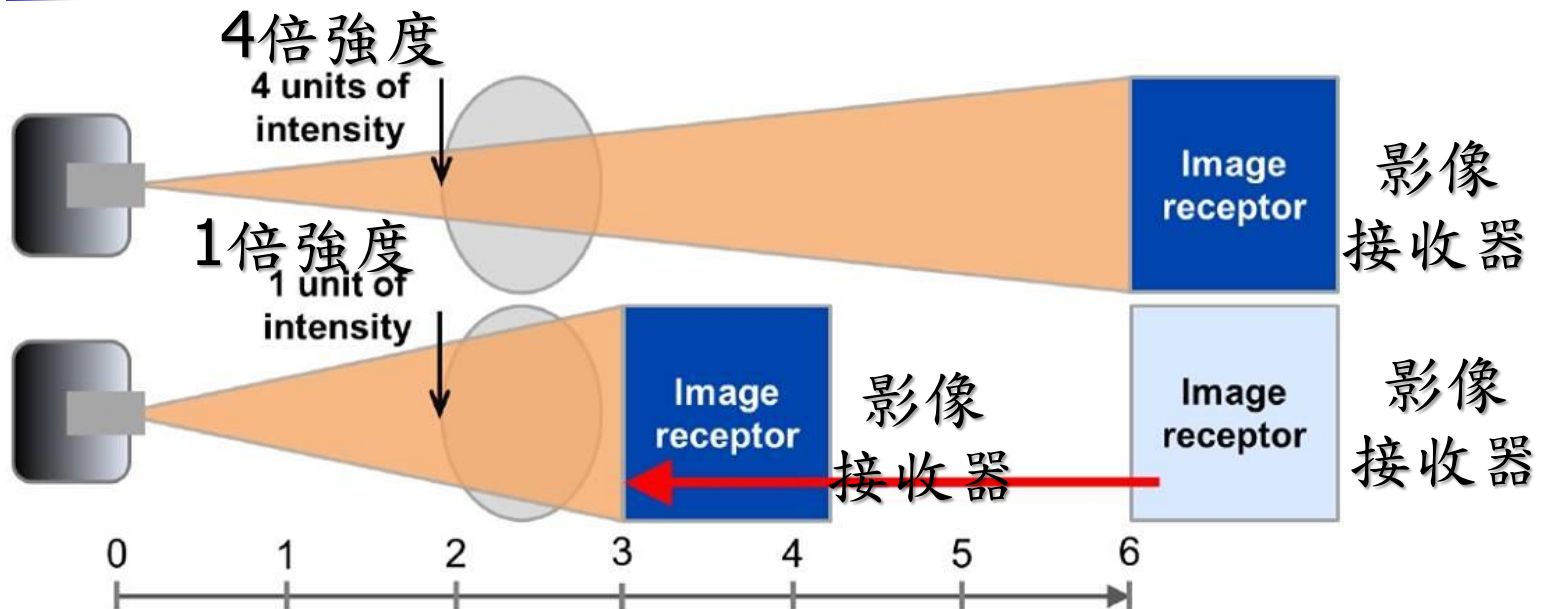
應避免 **Always Avoid!**



較佳 **Better Practice**



正當化判斷(5/8)



Minimize distance between the patient and the image receptor 影像接收器應儘量靠近病人

資料來源: The Radiation Protection of Patients (RPOP), the International Atomic Energy Agency (IAEA)

正當化判斷(6/8)

影像
接收器

X光管

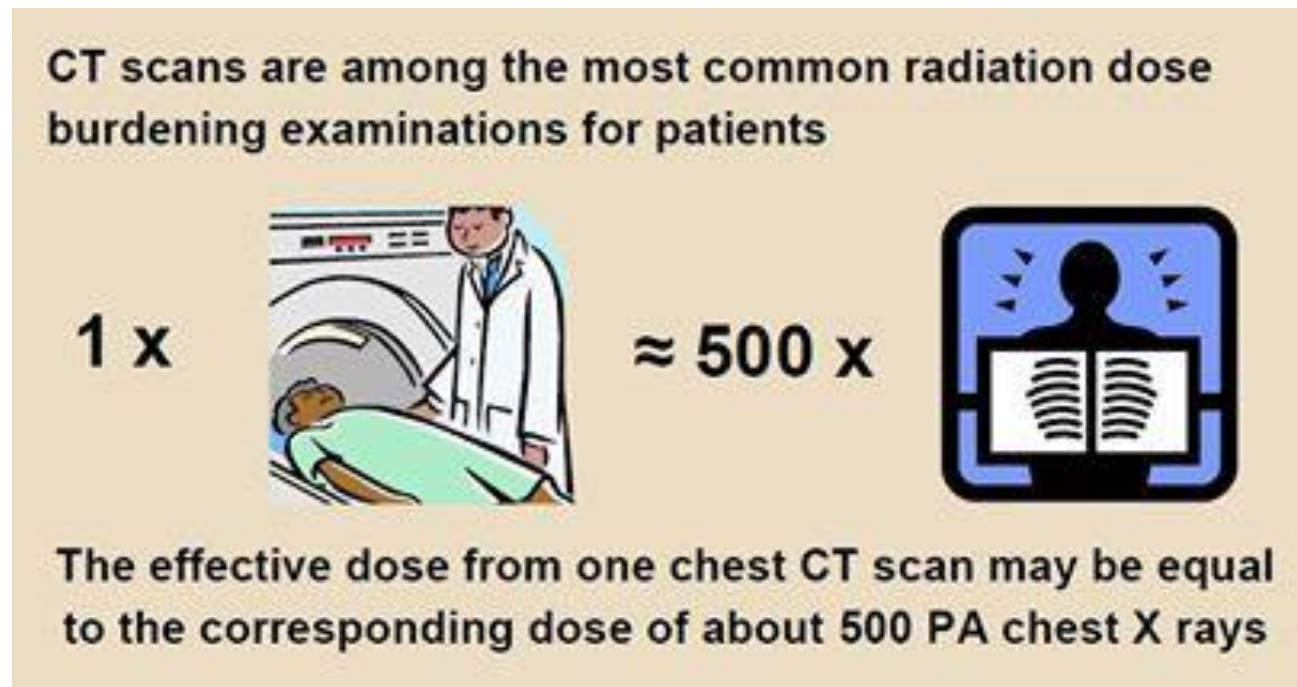
增加曝露與散射
產生的雜訊

Enhanced Exposure
More Noise from Scatter

較佳 Better Practice

正當化判斷(7/8)

電腦斷層通常是病患檢查中劑量最高者



一次胸部電腦斷層的有效劑量約等於
500次站立正面胸部(PA)X光檢查

正當化判斷(8/8)

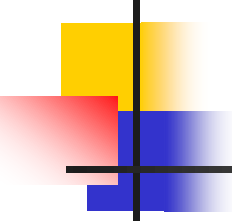


Tell me please:
Have you had any
other CT scans
recently?

請告訴我，你最近有
做其他斷層檢查？

**Repeat scanning of the patient to save
time because previous records are not
readily available is not part of a good
practice**

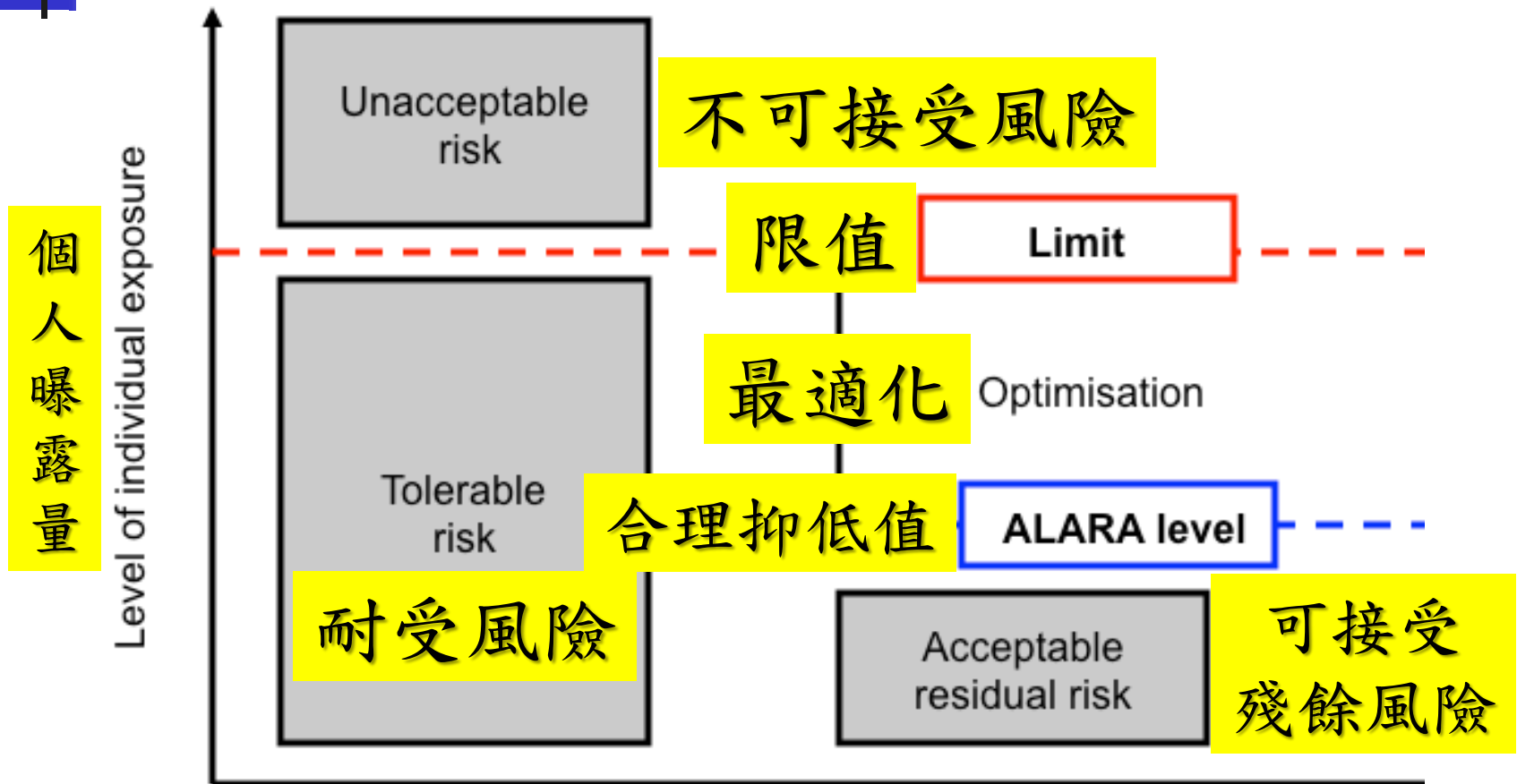
無法即刻取得前
次檢查資料，為
省時間重複檢查，
是不好的作法。



合理抑低

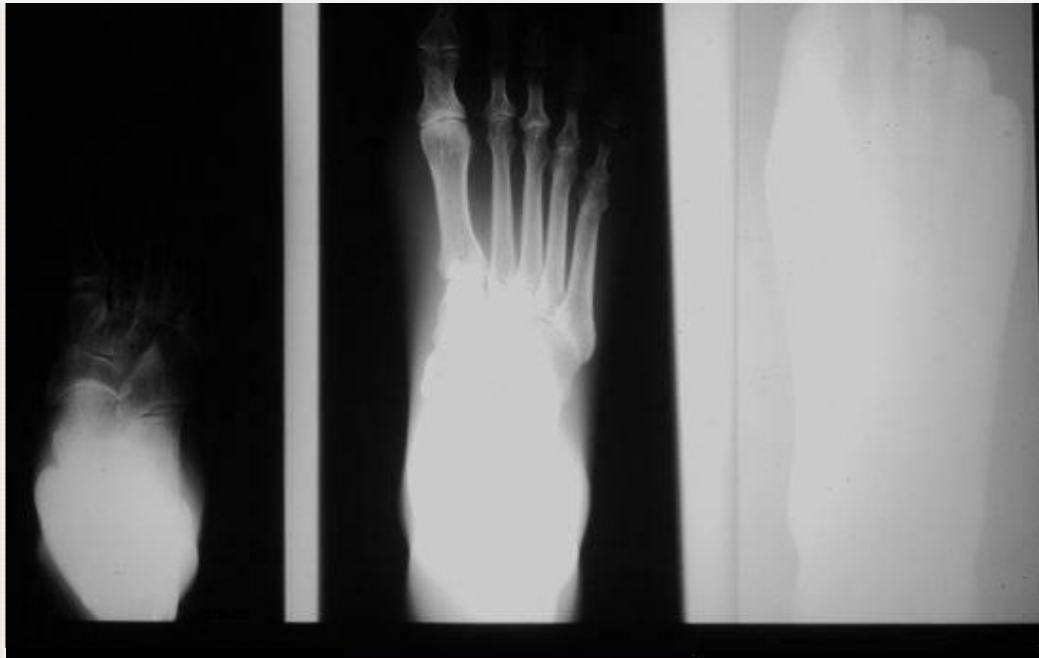
- **合理抑低**指盡一切合理之努力，以維持輻射曝露在實際上遠低於本標準之劑量限度。其**原則**為：
 - 一、 須符合原許可之活動。
 - 二、 須考慮技術現狀、改善公共衛生及安全之經濟效益以及社會與社會經濟因素。
 - 三、 須為公共之利益而利用輻射。

風險耐受的觀念



最適化(1/5)

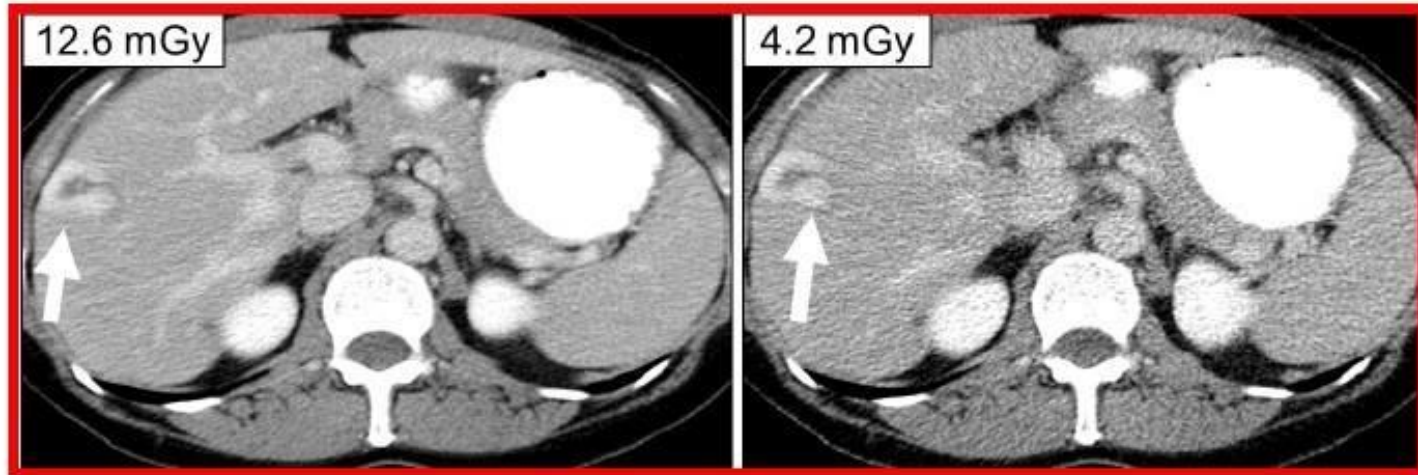
造影時，不佳的曝光條件，將造成不佳的螢幕影像



曝光不足

曝光過度

最適化(2/5)



影像品質：沒必要這麼高 影像品質：足夠診斷

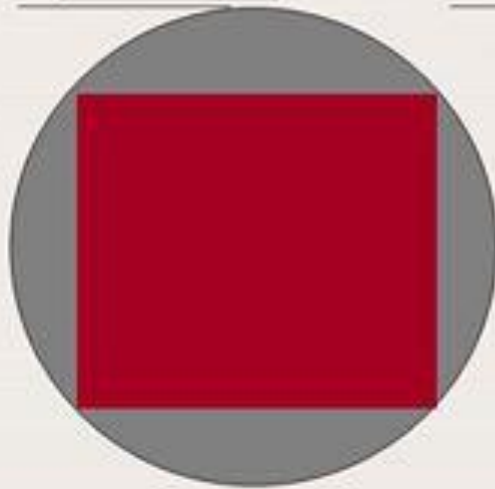
高影像品質雖然看起來很優，但會對病人造成較高劑量
應開始使用有些許雜訊，但不會損失影像資訊的影像

*Images courtesy of: MK Kalra, S. Singh, MGH Webster Center
for Advanced Research and Education in Radiation*

最適化(3/5)

病患劑量-瞄準(collimation)

瞄準圓形內的方形區域，將減少36%劑量

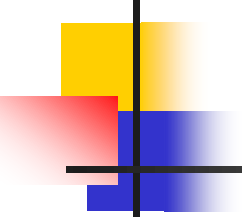


$$\text{圓面積} = \pi r^2$$

$$\text{正方形} = 2r^2$$

$$\text{面積} \quad (\pi r^2 - 2r^2) / \pi r^2 = 36\%$$

其他曝光條件
不變



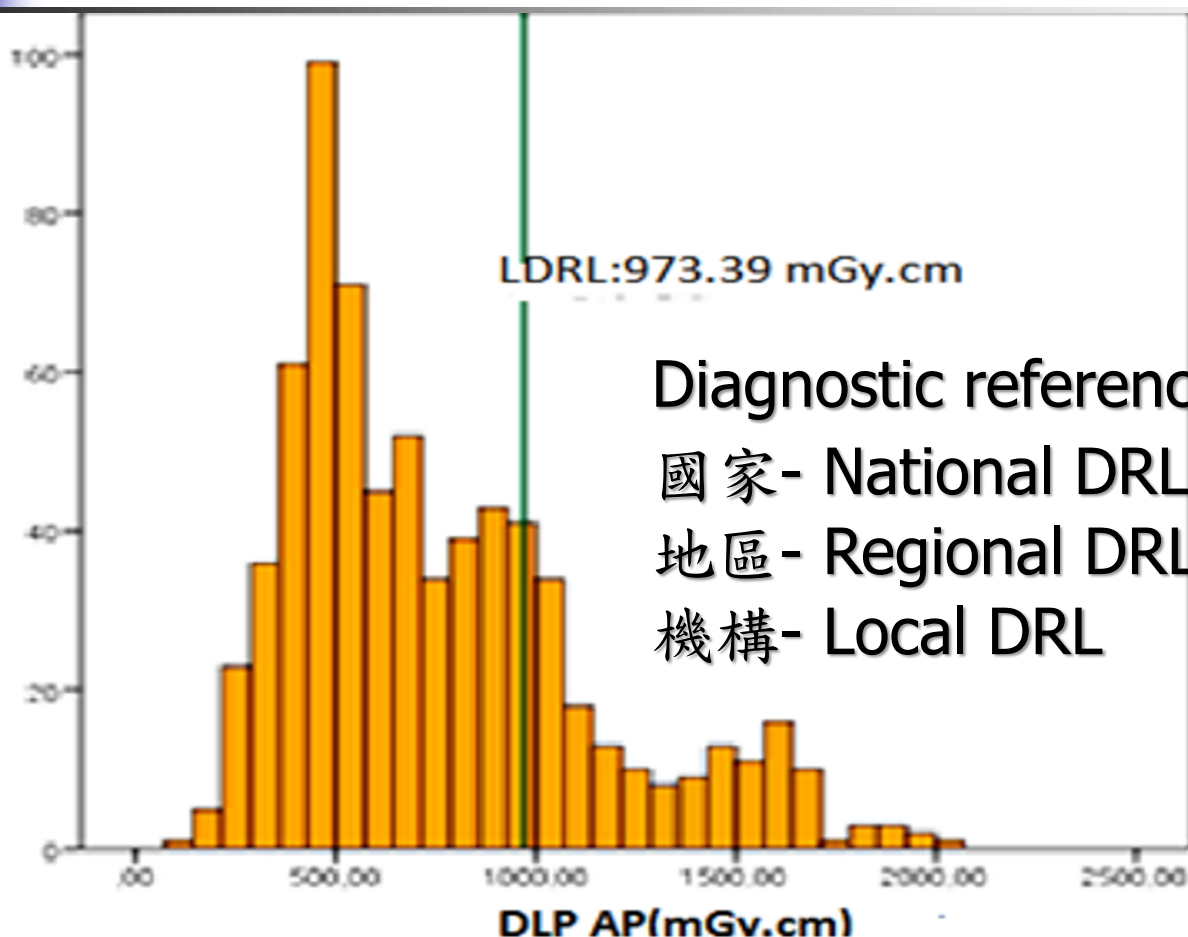
最適化(4/5)

類似電腦斷層檢查有效劑量差異

檢查部位	有效劑量(mSv)		
	最低	最高	比值
胸部	1.9	26.0	13.7
冠狀血管	1.0	31.8	31.8

Muhogora et al. **Patient doses** in CT examinations in **18 countries**: initial results from International Atomic Energy Agency projects. Radiat Prot Dosim 2009;136(2):118–26.

最適化(5/5)-診断劑量參考水平

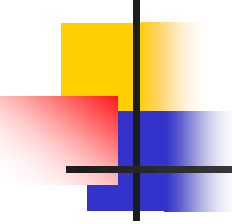


Diagnostic reference level, DRL

國家- National DRL

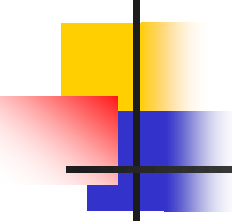
地區- Regional DRL

機構- Local DRL



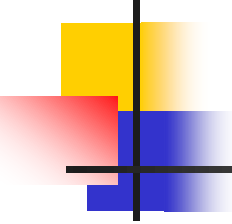
輻射作業管理檢查及輔導紀錄表(1/3)

- 依規定設輻防組織(輻射防護管理委員會)或輻防人員，執行輻射防護管理業務，定期(至少6個月)開會，並留存紀錄備查。
- 已依「游離輻射防護法」修訂「輻射防護計畫」，且確實宣導與執行。
- 依規定對工作人員實施教育訓練(每年3小時)，並留存紀錄備查。



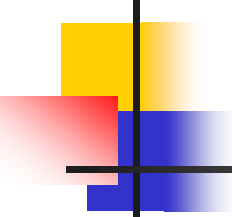
輻射作業管理檢查及輔導紀錄表(2/3)

- 依規定對工作人員實施體格檢查及健康檢查，並依檢查結果為適當之處理，且留存紀錄備查。
- 依規定對工作人員實施劑量監測(體外、體內(有體內曝露之虞者))，並留存紀錄備查。
- 依規定進行地區劃分及管制。



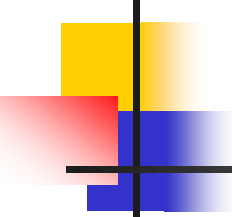
輻射作業管理檢查及輔導紀錄表(3/3)

- 置備適當之輻射偵測或監測儀器，定期（每年）校驗，並留存紀錄備查。
- 定期實施輻射偵測及排放廢水分析，並留存紀錄備查。
- 已建立放射性物質、可發生游離輻射設備完整料帳紀錄且放射性污染物、廢棄物管理完善，並留存紀錄備查。



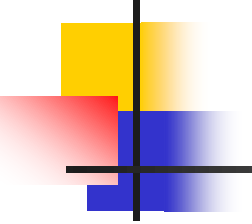
年度偵測項目法源依據

- 「游離輻射防護法」第32條第3項：...設施經營者應對放射性物質、可發生游離輻射設備或其設施，**每年至少偵測一次...**。
- 行政院核能安全委員會92年9月1日公告：
「**領有許可證之放射性物質、可發生游離輻射設備或其設施年度偵測項目**」。
- 行政院核能安全委員會93年3月10日公告：
「**非醫用可發生游離輻射設備、密封放射性物質(裝備)輻射安全測試報告**」。



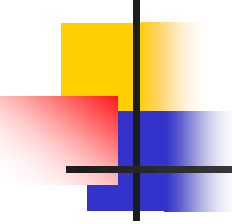
年度偵測證明

- 護管套外表面距靶一公尺處，不得超過有用射柱內中心軸上輸出劑量之千分之一，或X光管罩滲漏輻射**空氣克馬**小於0.87 mGy/h。
(非醫療用途設備免填)
- 管制區內操作人員或工作人居佔位置之**劑量率**最高不超過10 $\mu\text{Sv/h}$ 。
- 管制區外距任何可以接近四週障壁外表面30 cm處之**劑量率**最高不超過0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。
- **登記類**：「設備」正常使用時可接近表面5 cm處劑量率小於5 $\mu\text{Sv/h}$ 。



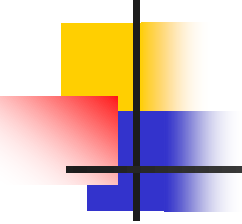
場所平面圖規劃內容

- 放射性物質或可發生游離輻射設備之位置描述及透視圖。
- 場所四周之狀況(含樓上、下)描述。
- 場所四周屏蔽材料及厚度。
- 主射束照射方向。
- 各進出大門位置。



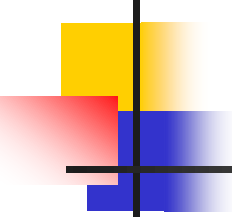
屏蔽規劃內容

- 鉛玻璃位置及鉛厚當量；無此規劃者免。
- 進出大門應安裝安全連鎖之位置。
- 進出大門應張貼輻射警示標誌及裝置警示燈之位置。
- 使用時之輻射劑量之描述或屏蔽計算過程。



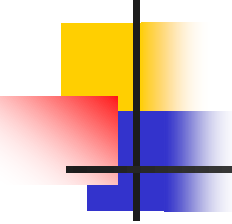
移動型規劃內容

- 放射性物質或可發生游離輻射設備之使用場所及場所四周描述。
- 主射束照射方向之描述。
- 使用時之輻射劑量之描述或屏蔽計算過程。
- 設可移動式鉛防護屏蔽者，應註明屏蔽之鉛厚當量或其他相關防護措施。



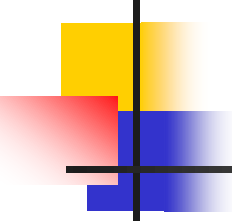
特殊規劃內容(1/2)

- 醫用之可發生游離輻射設備，於同一治療室或X光室裝置兩部或兩部以上，各設備間應置有切換開關。放射性物質不得於同一治療室或X光室裝置兩部或兩部以上。
- 高強度輻射設施之使用場所，應設置警報器、監視器、急停裝置及安全連鎖裝置。



特殊規劃內容(2/2)

- 醫用治療之放射性物質或可發生游離輻射設備，應於治療室中設置監視器及緊急停止等裝置。
- 移動型放射性物質或可發生游離輻射設備經常在同一地點使用者，應視為固定型。

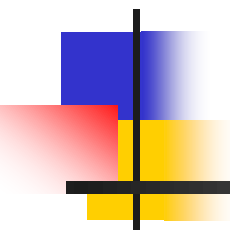


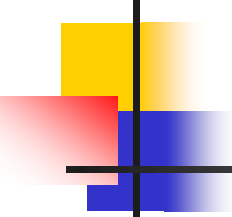
輻射作業之輻射防護

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：

1. 利益須超過其代價。(正當化)
2. 考慮經濟及社會因素後，一切曝
露應合理抑低。(最適化)
3. 個人劑量不得超過本標準之規定
值。(限制化)

輻射應用及防護



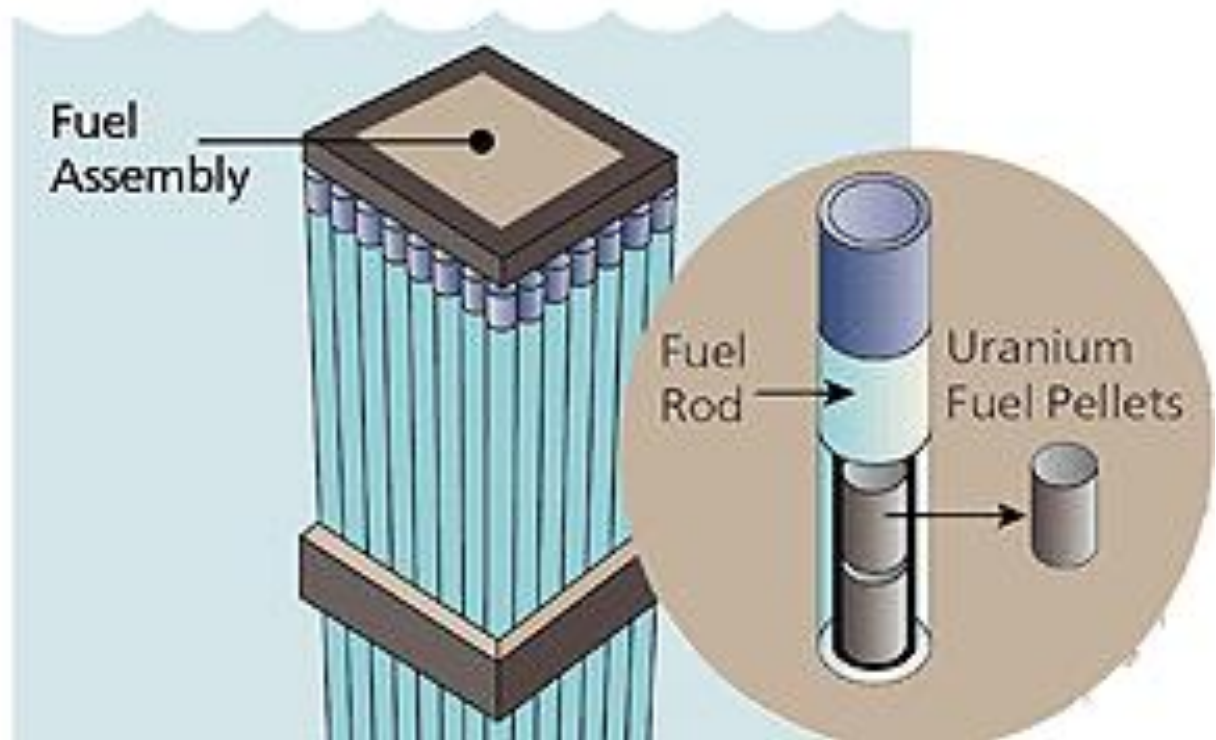


前言

1. 核能應用—發電、原子彈、電池、長明燈
2. 輻射效應應用—避雷針、煙霧警報器、靜電消除器、滅菌、育種、改變材質、離子佈值機、放射治療
3. 示蹤劑應用—分子代謝、放射免疫分析、核醫造影
4. 輻射線差異吸收與繞射等應用—X光攝影、X光螢光分析、X光繞射分析、X光反射分析、電子顯微鏡、非破壞檢測、中子照相
5. 其他—中子活化分析、同位素稀釋分析、古物定年

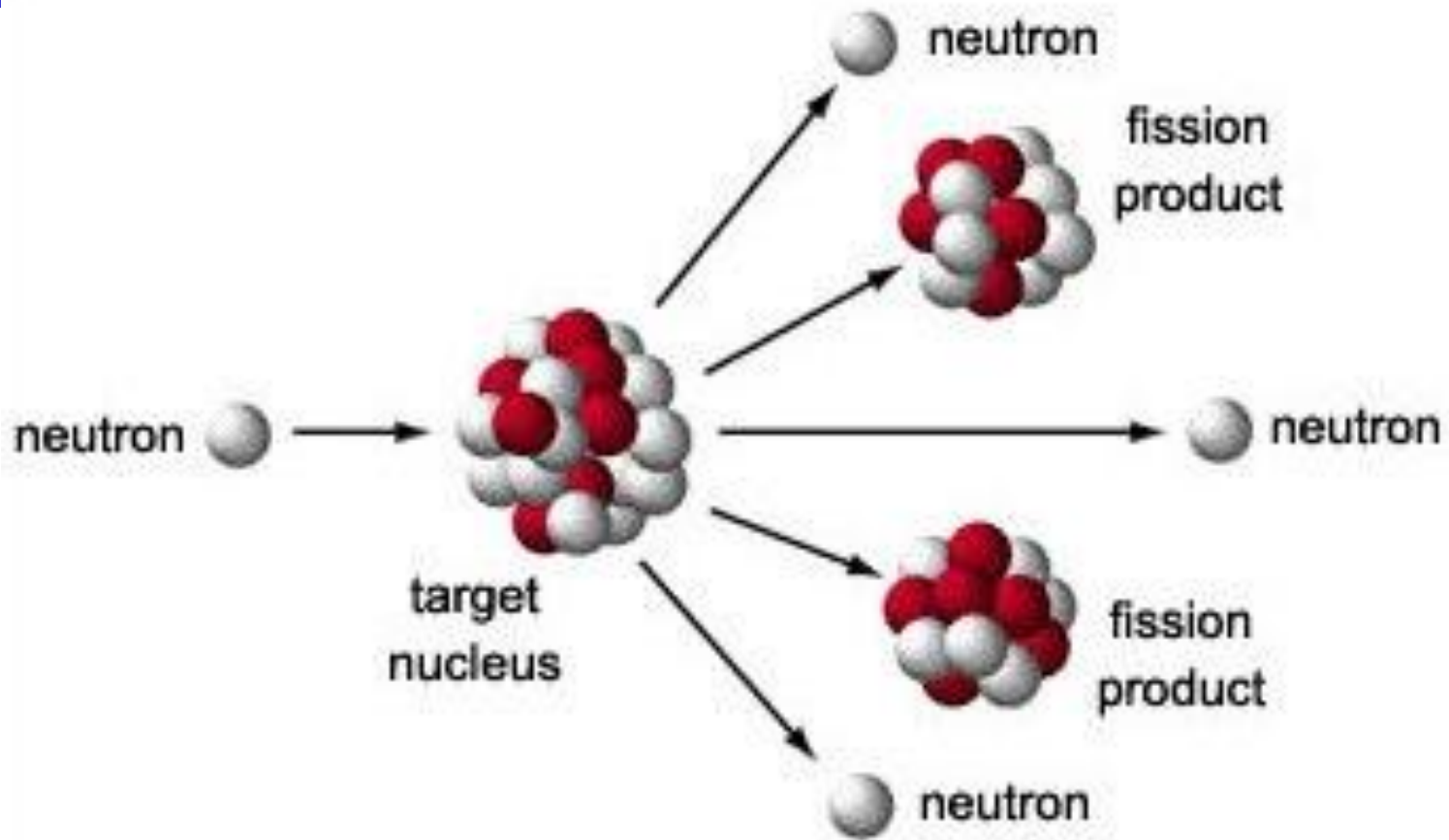
核燃料

- 燃料丸
- 燃料棒
- 燃料匣

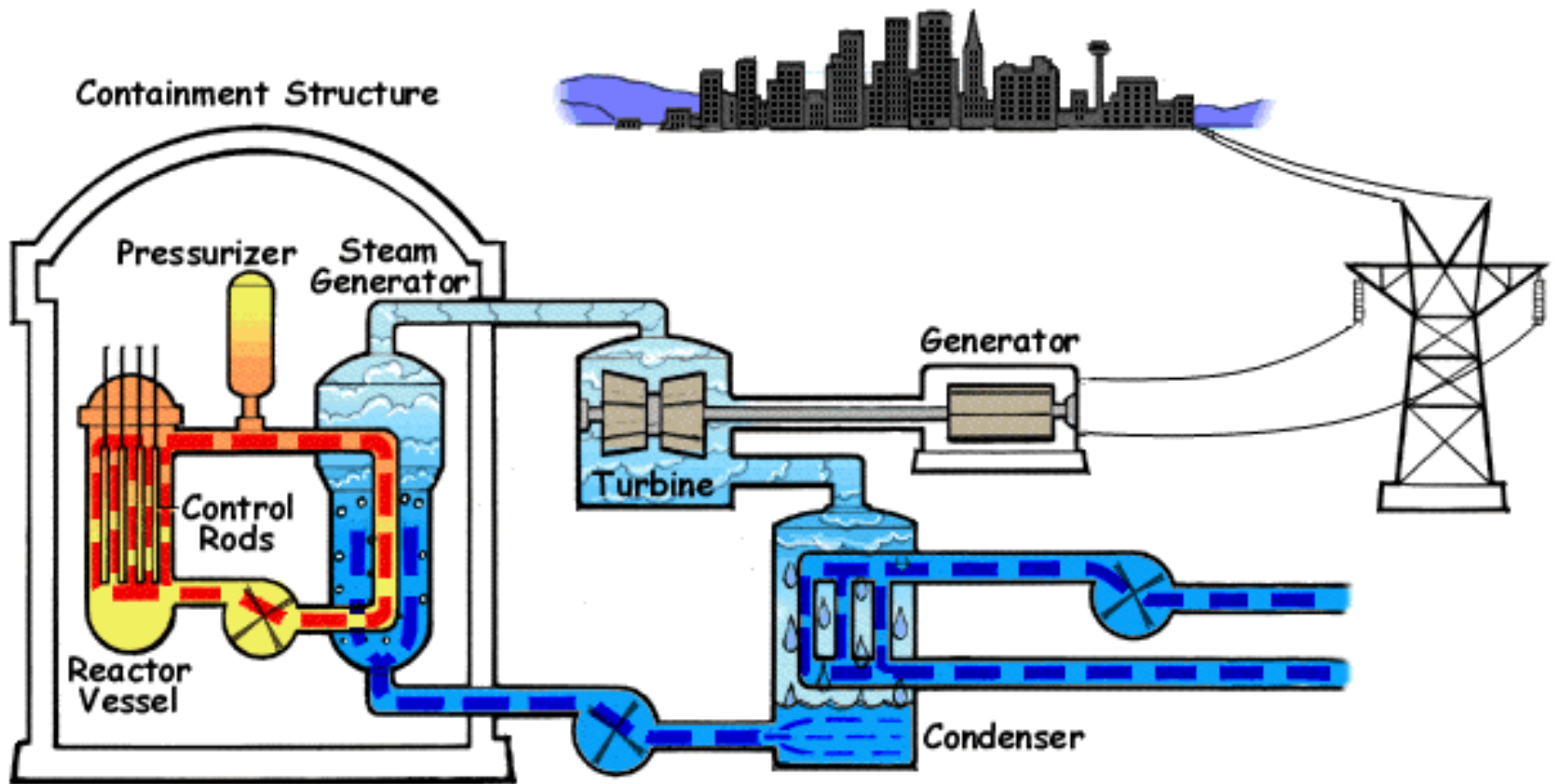


核電廠燃料裝填後可持續運轉18~24個月

中子誘發核分裂示意圖



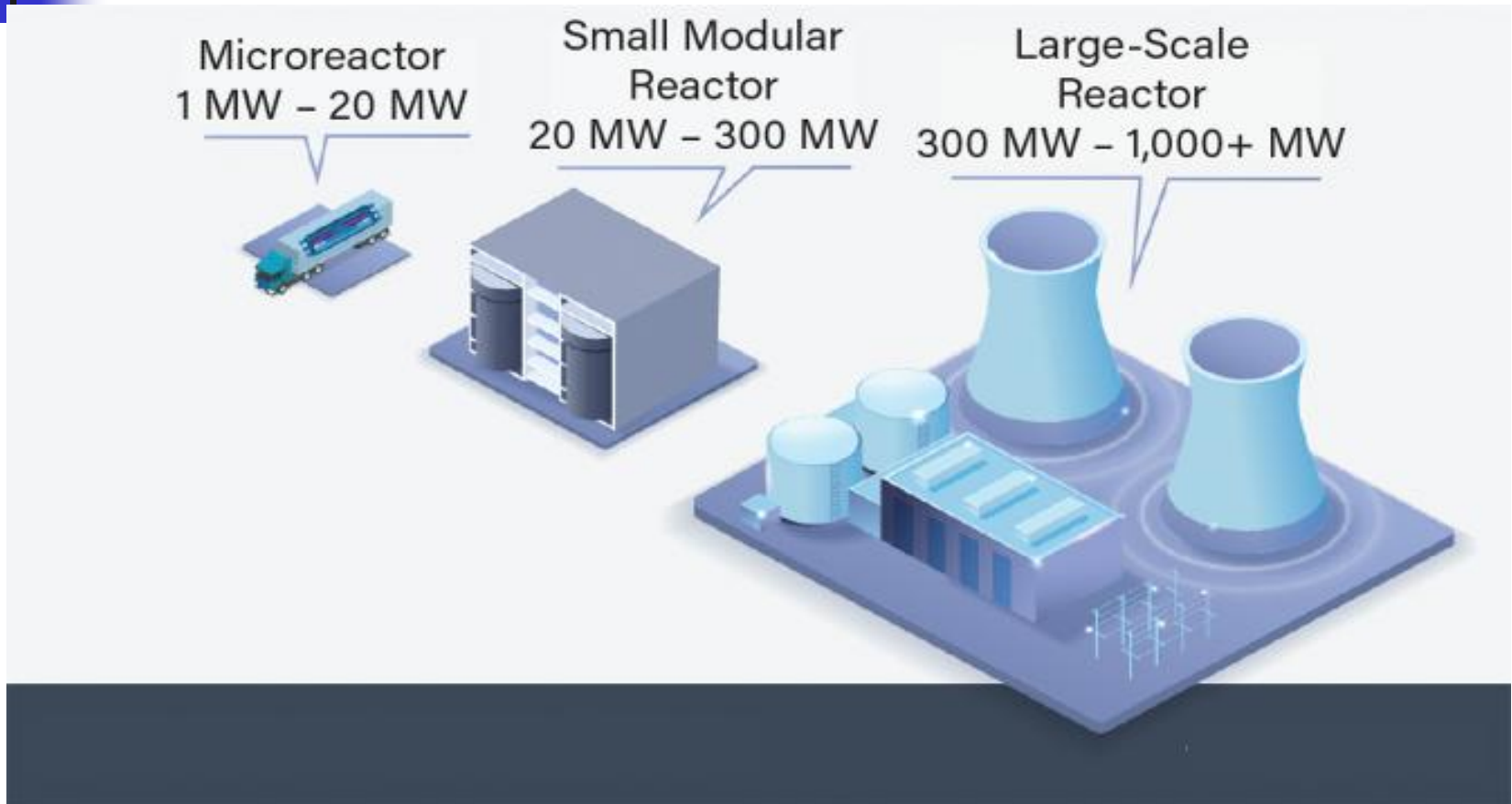
核電廠



台灣核電廠



小、微型模組化核電廠

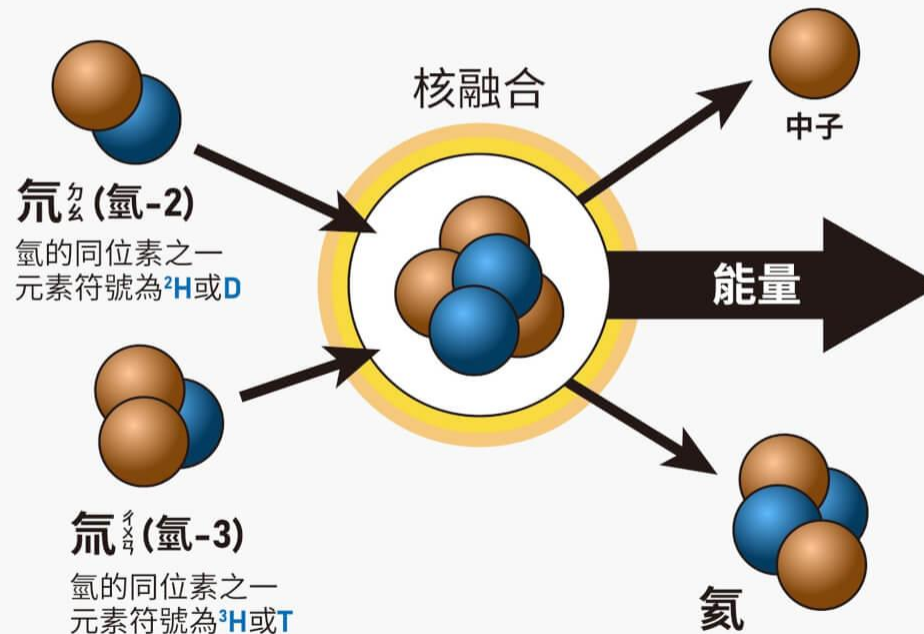


核融合示意圖

核融合反應原理

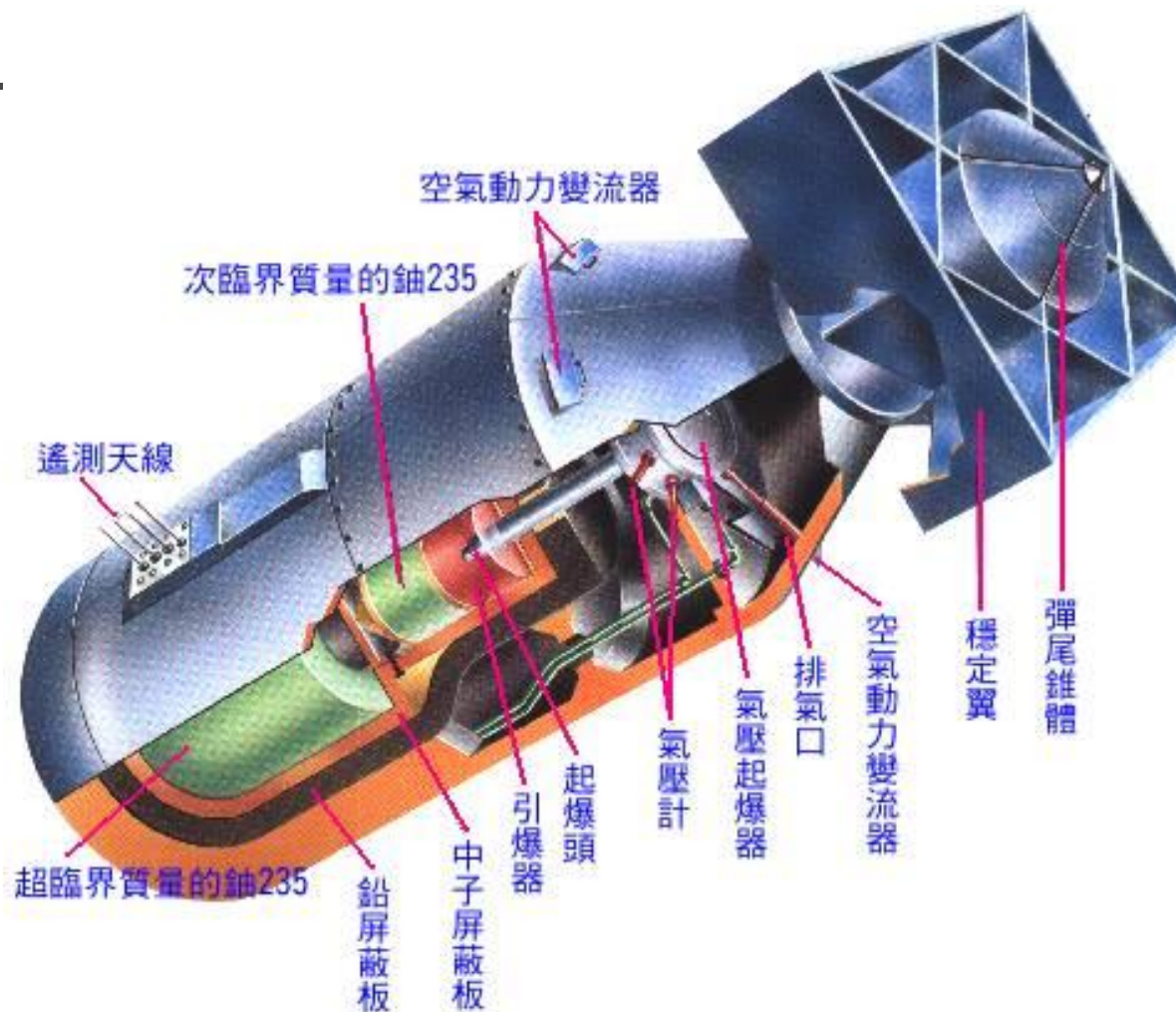
在核融合反應中，兩個較輕的原子核會形成一個較重的原子核，並釋放能量，下為氘-氚 (D-T) 核融合反應案例

● 質子 ● 中子



資料來源：美國能源部

原子彈



廣島核彈(Little boy, ^{235}U)

Diameter:

71.1 cm

Length:

3.0 m

Weight:

4,400 kg

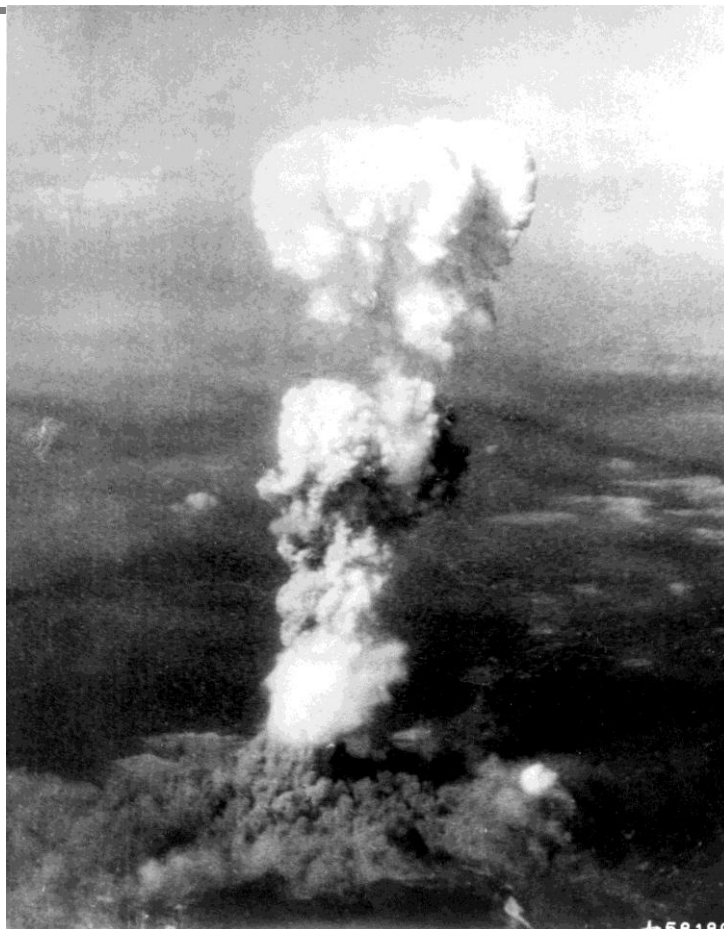
Yield:

15 kt

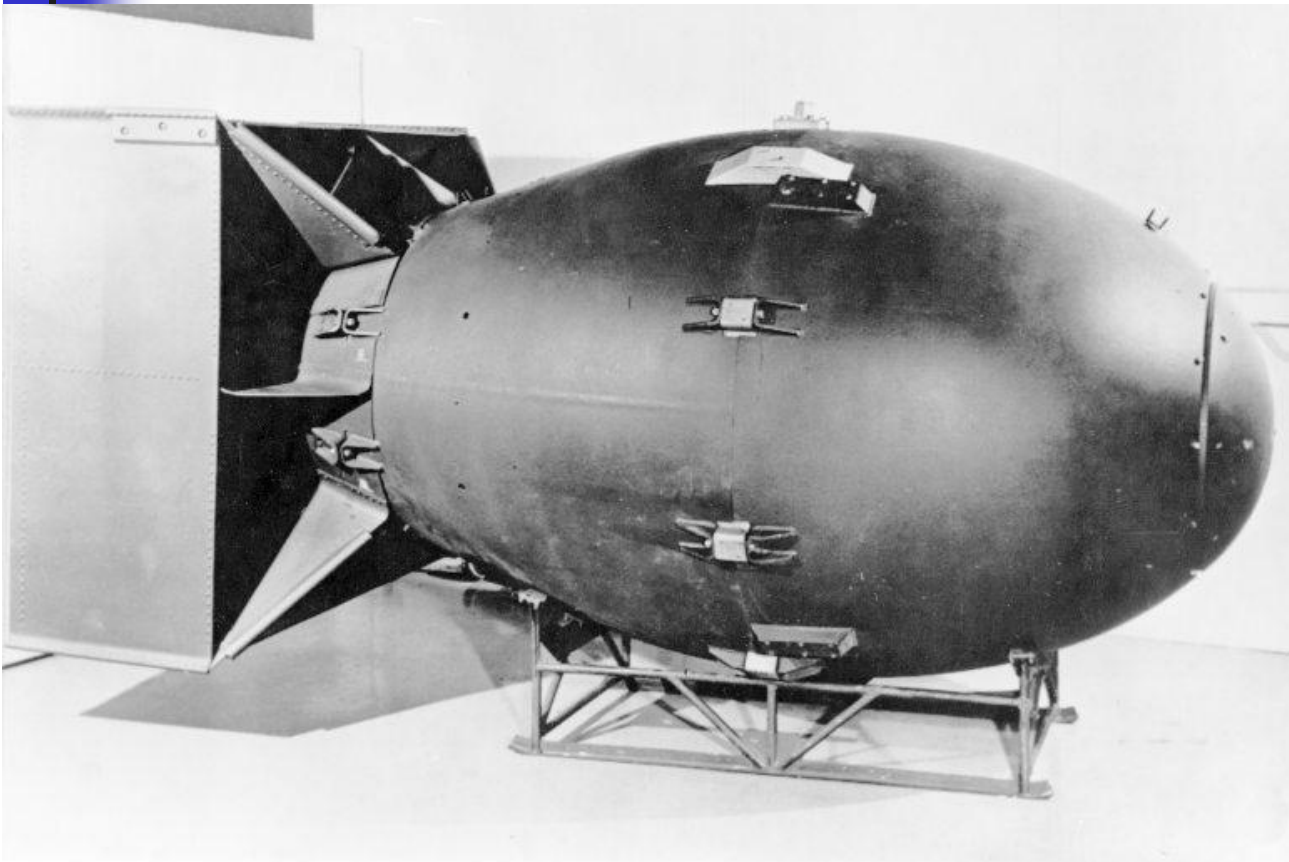


廣島的蕈狀雲

1945年8月6日8:16



長崎核彈(Fat man, ^{239}Pu)



Diameter:

1.5 m

Length:

3.25 m

Weight:

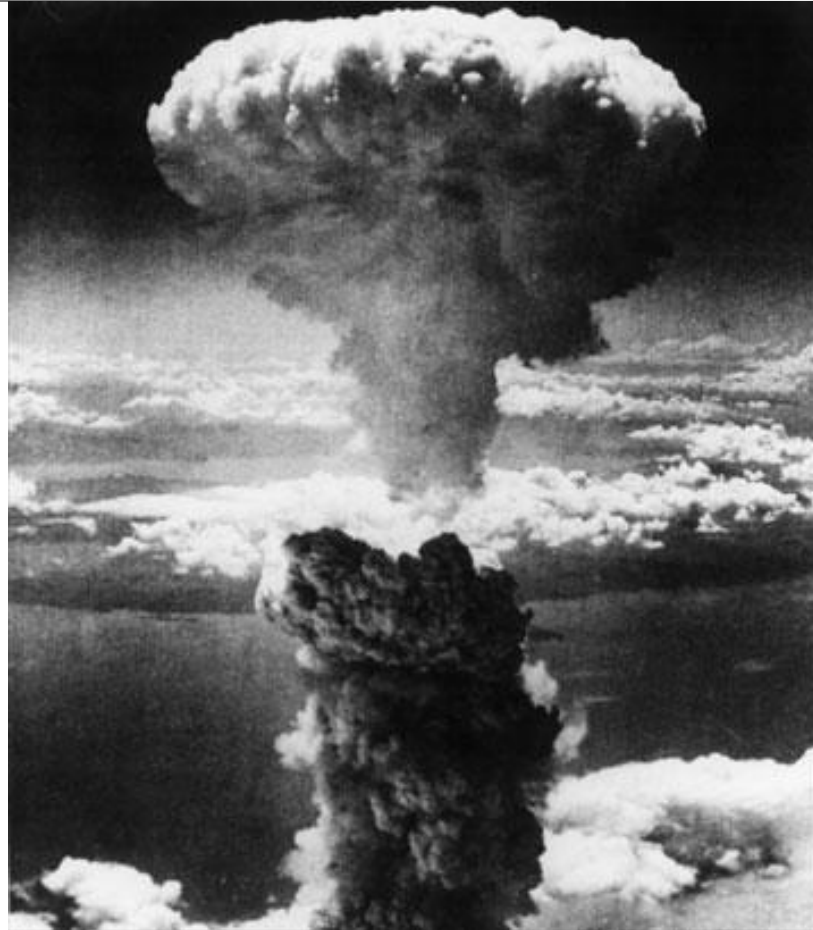
4,656 kg

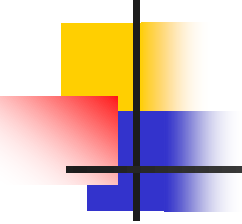
Yield:

22 kt

長崎的蕈狀雲

1945年8月9日 11:02





放射性同位素電池(1/3)

放射性同位素電池是1960年代迅速發展起來的新型電池。它把同位素(例如鈾238)的輻射能轉換成電能的一種發電裝置，與其它電源相比，放射性同位素電池具有壽命長、體積小、比容量高、工作可靠和不受環境影響等優點。可作為人造衛星、宇宙飛船、極地荒原考查，無人氣象站等惡劣條件下設施的電源。其功率一般在瓦級到千瓦級之間。

放射性同位素電池(2/3)

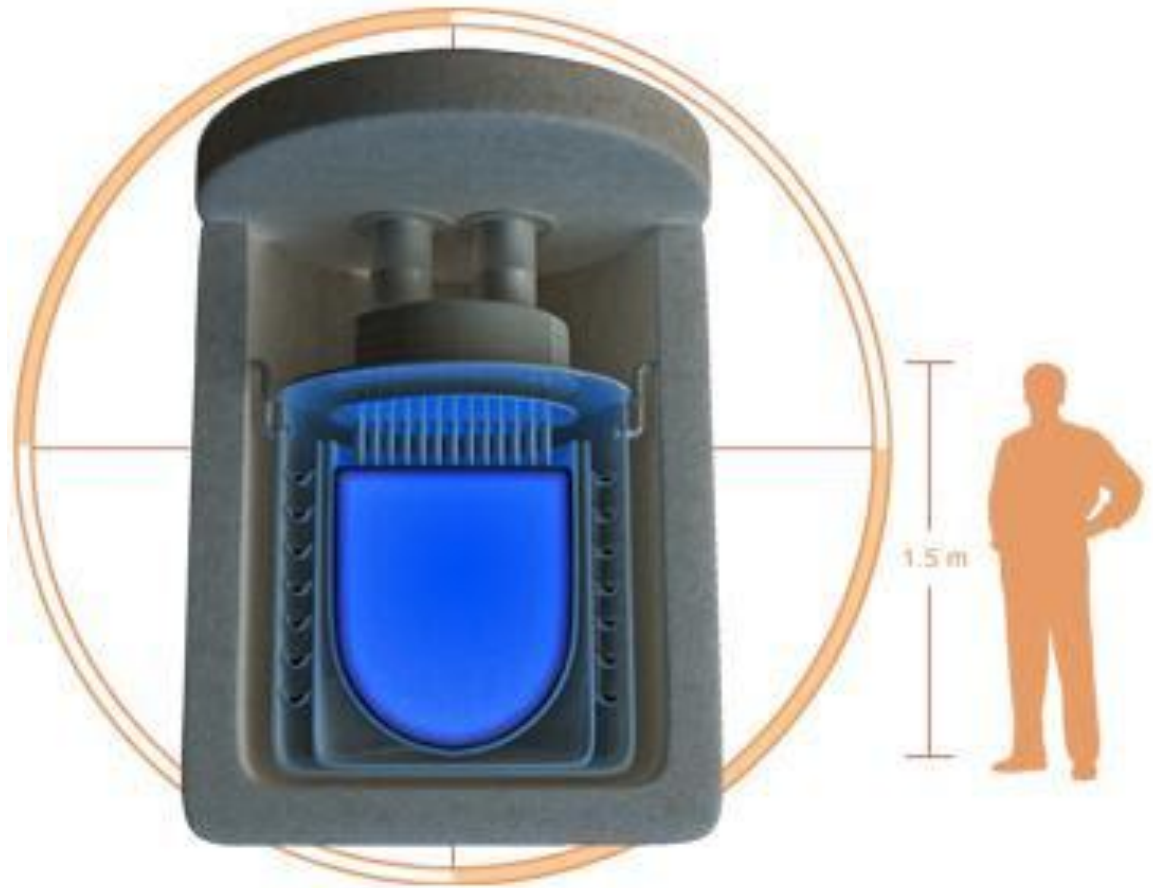


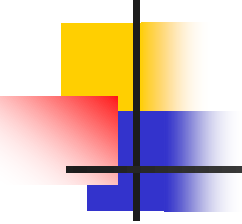
Left: http://3.bp.blogspot.com/-ivZl2NGf_SQ/UVZaYkGeYsI/AAAAAAAAALng/TeX5RBLvaO0/s1600/Nuclearbatteries.jpg

Right: <http://cdn.wonderfulengineering.com/wp-content/uploads/2014/09/Water-based-nuclear-battery2.jpg>

放射性同位素電池(3/3)

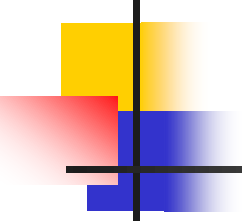
鈾電池
70 MW
~3千萬美元





長明燈

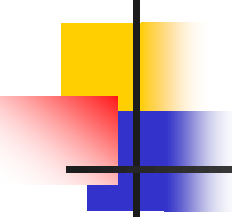
一般的長明燈(原子燈)用氦85作為輻射激發物質，用硫化鋅銅(發綠光)或硫化鎘(發紅光)作發光體。選用氦85是因氦是惰性氣體，不與其他物質發生化學反應、毒性低、是核工業廢氣回收得到的副產品、價格比較便宜、輻射防護容易(β 射源， γ 產率0.4%)、使用壽命長(氦85半化期為10.7年)。



避雷針

大氣由於宇宙射線或其他游離現象的作用，會產生正負離子。正負離子於大氣中能自由運動，這就使空氣能導電。

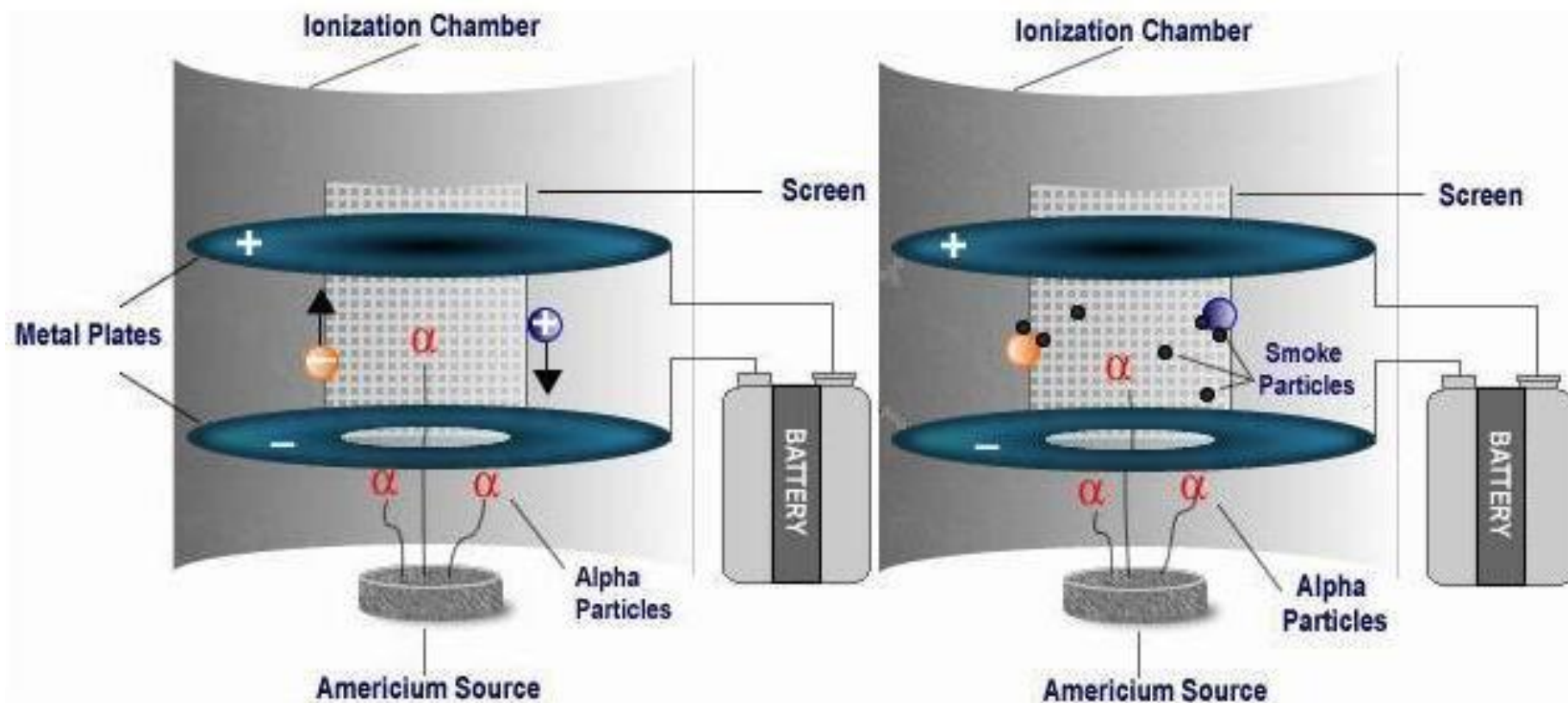
在避雷針的截雷裝置端添加鈷、鉚放射性同位素，可使空氣發生游離，電通常走電阻最小的通路，此添加可主動打開一條與雲中電荷相通的電通路，進而增加雷的攔截效率。



烟霧警報器 (1/2)

放射性同位素(例：鈾210或釷241)衰變時釋出的輻射線，通過空氣時，能將空氣游離，生成正負離子對。烟霧進入此游離空間時，將吸附離子，使離子遷移速度變慢，改變空氣導電性，利用此原理，可設計成烟霧警報器。烟霧警報器若與電腦系統結合，將能自動報警、自動滅火、自動斷電等。

烟霧警報器 (2/2)



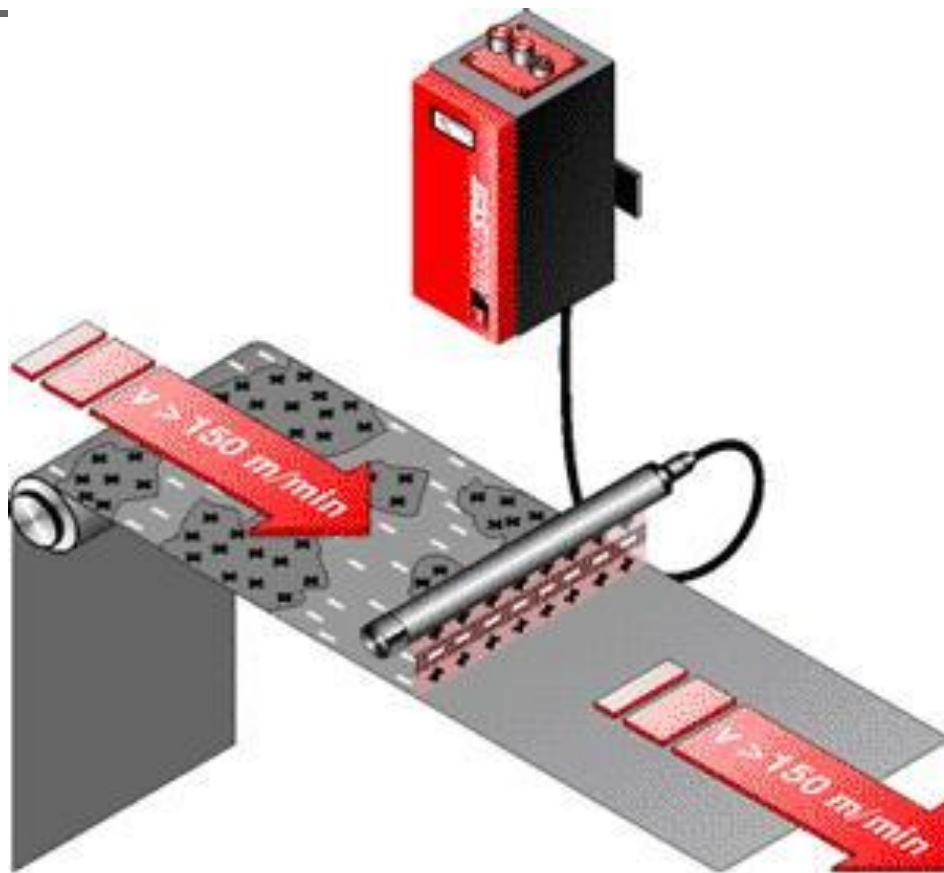
靜電消除器 (1/2)

內含會發射 α 之 ^{210}Po 射源



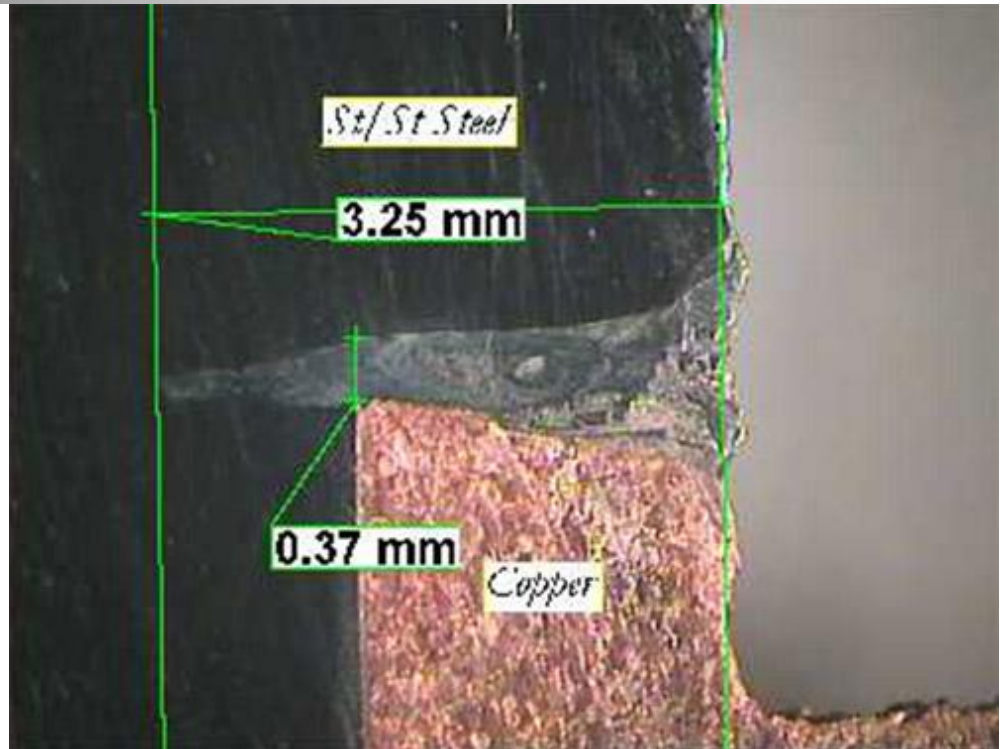
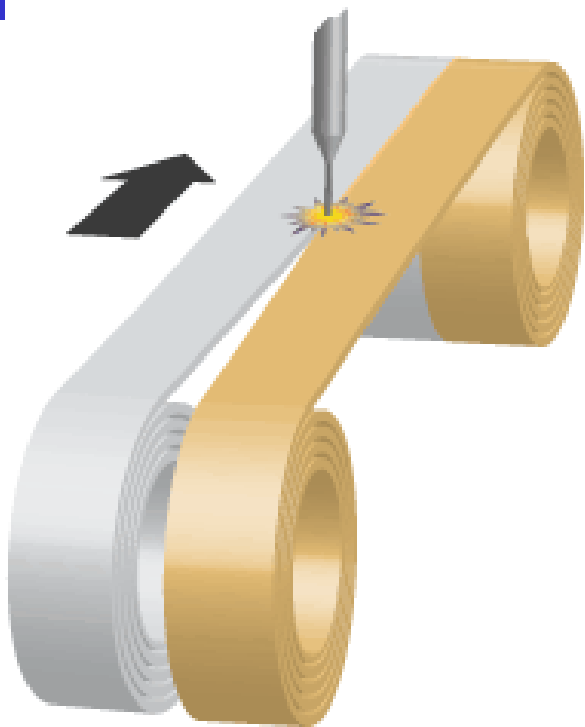
<http://www.ornl.gov/PTP/collection/Sources/source9.jpg>

靜電消除器 (2/2)



http://www.tech-sales.com/Nex_Flow/images/staticvs1.jpg

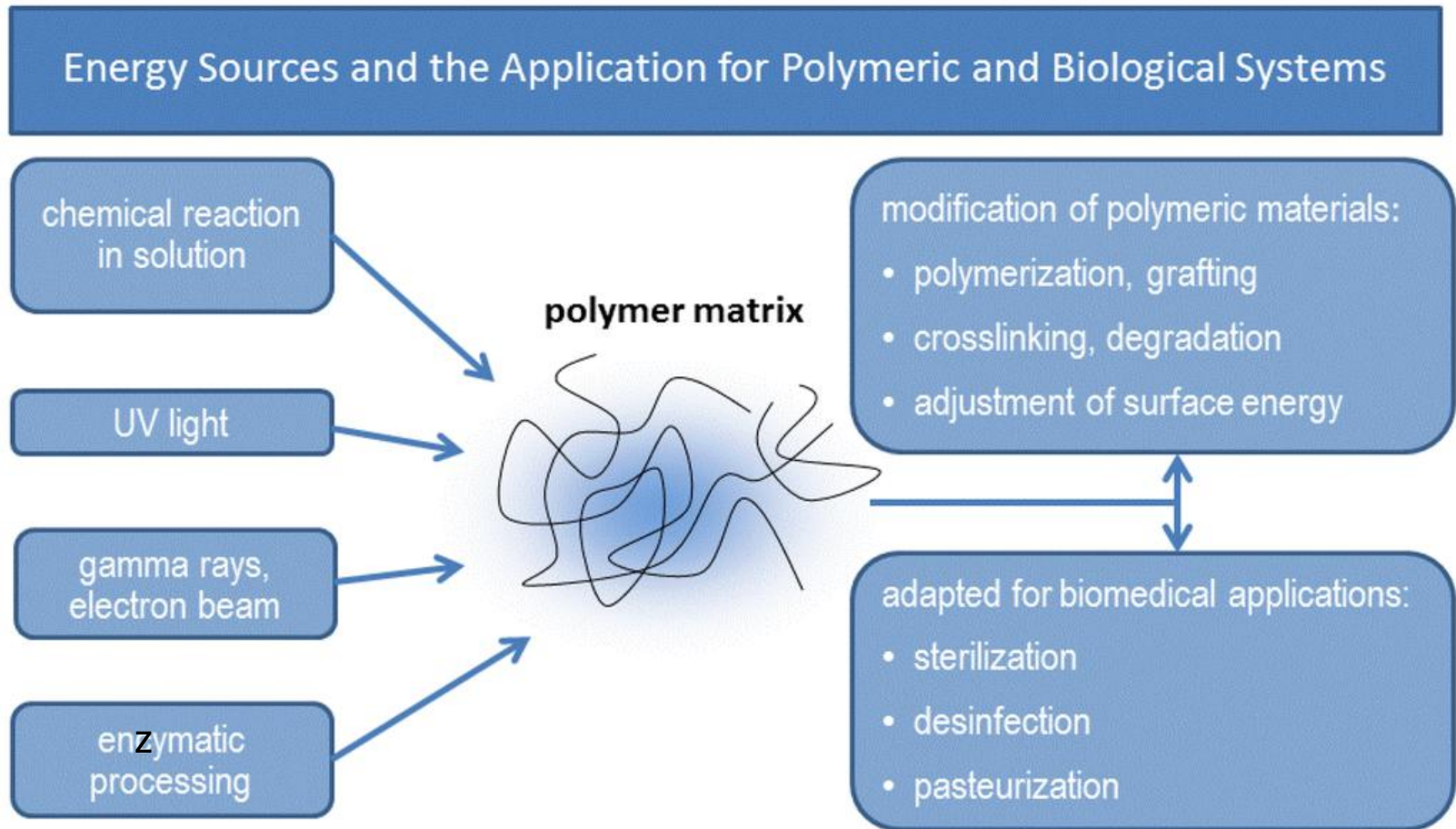
電子束焊接應用



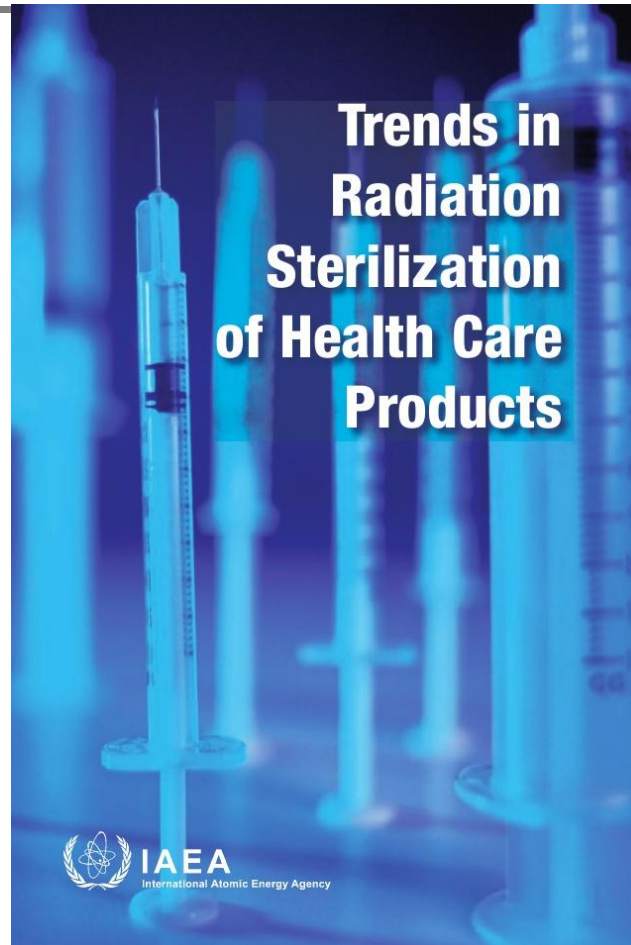
http://www.egbert.co.uk/images/eb_welding.gif (左圖)

<http://ebpglobal.com/services/design-innovation-advice> (右圖)

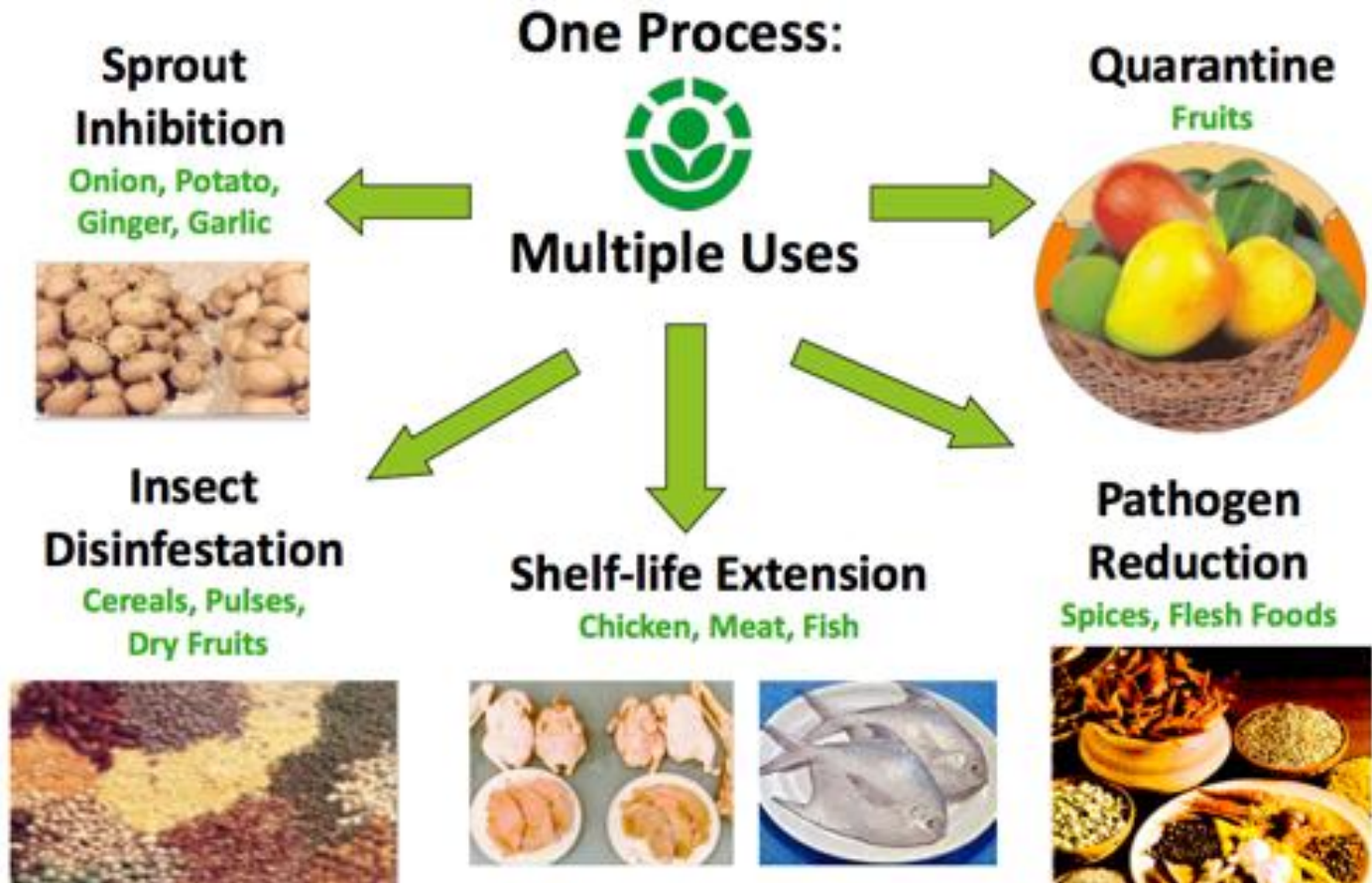
輻射照射應用



輻射滅菌-醫療器材



輻射滅菌-食品

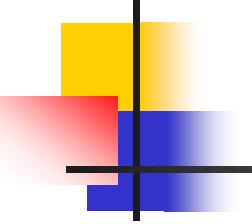


育種

discovery of the production
of mutations by means of
X-ray irradiation

Hermann Joseph Muller
Nobel prize 1946





離子佈值機

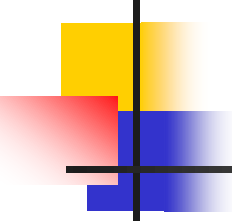
半導體製程時，需要在晶圓內植入雜質，例如植入5價的砷或磷，成N型半導體，或植入3價的硼，成P型半導體。進行佈植時，需以高電流、高能量將欲摻雜元素離子化並加速，經電場、磁場控制方向、質量、電性等，再撞擊晶圓靶。因為能量不減，此高能的離子束被植入晶圓表面時，其具有的高能將轉換成不同形式的能量，包括熱、微波及制動輻射等，此制動輻射即是一種X光。

放射治療

treatment of diseases
with concentrated light
radiation

Niels Ryberg Finsen
Nobel prize 1903



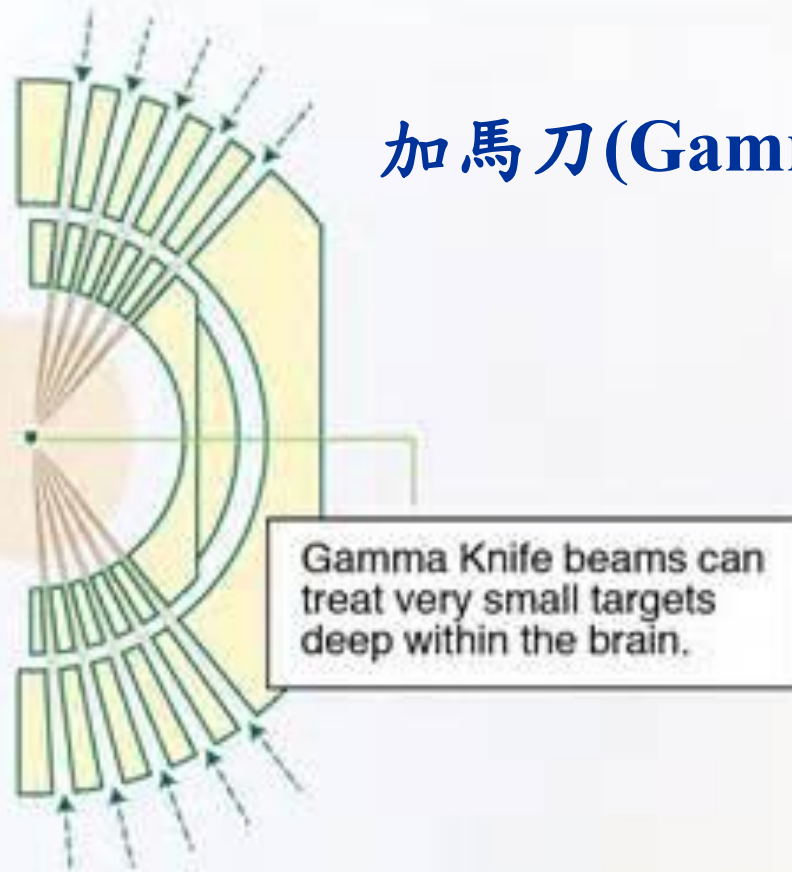


放射治療

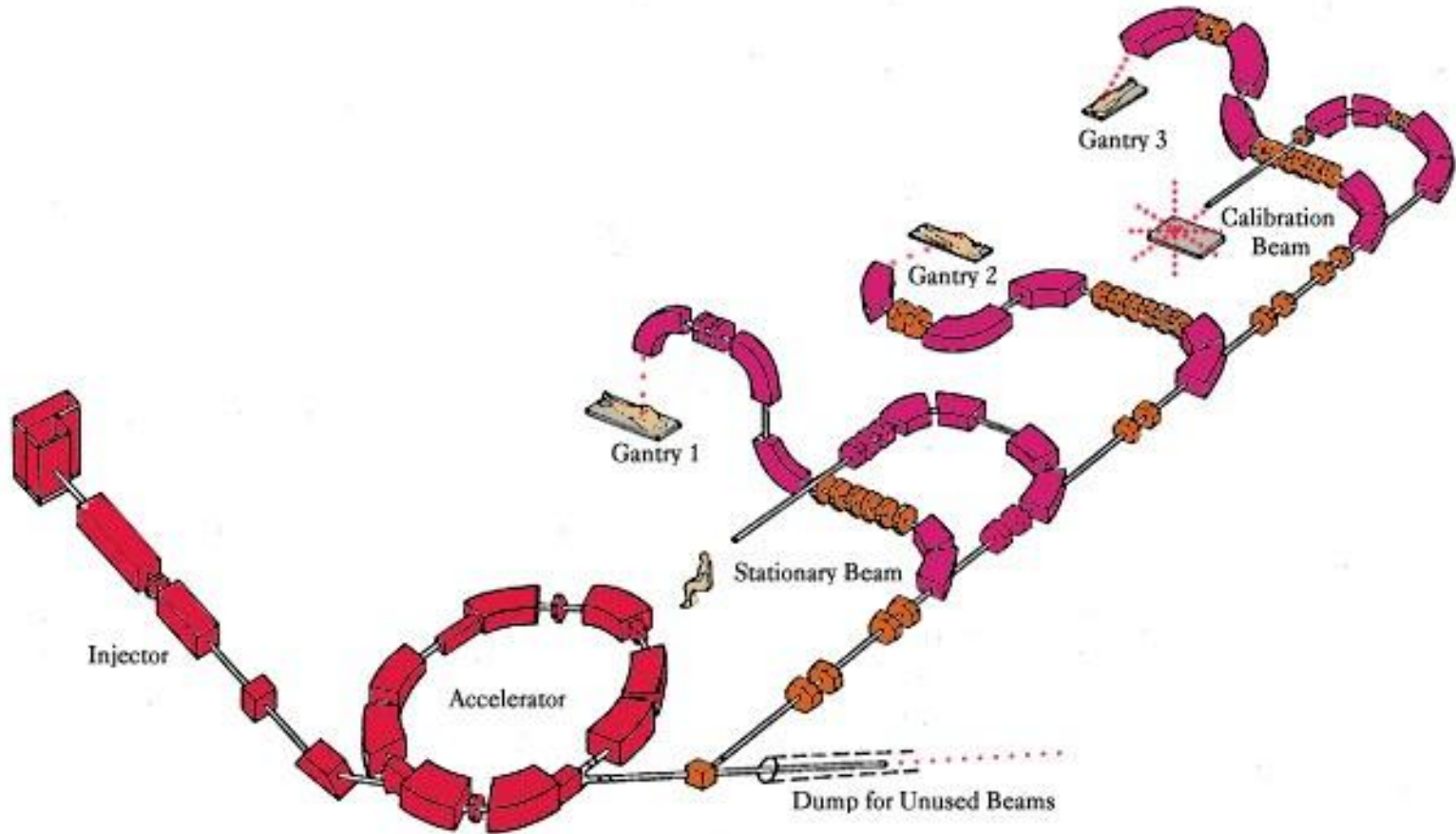
- 近接治療
- 鈷60治療機
- 直線加速器
- 迴旋加速器
- 硼中子捕獲治療
- 放射免疫治療

放射治療-加馬刀

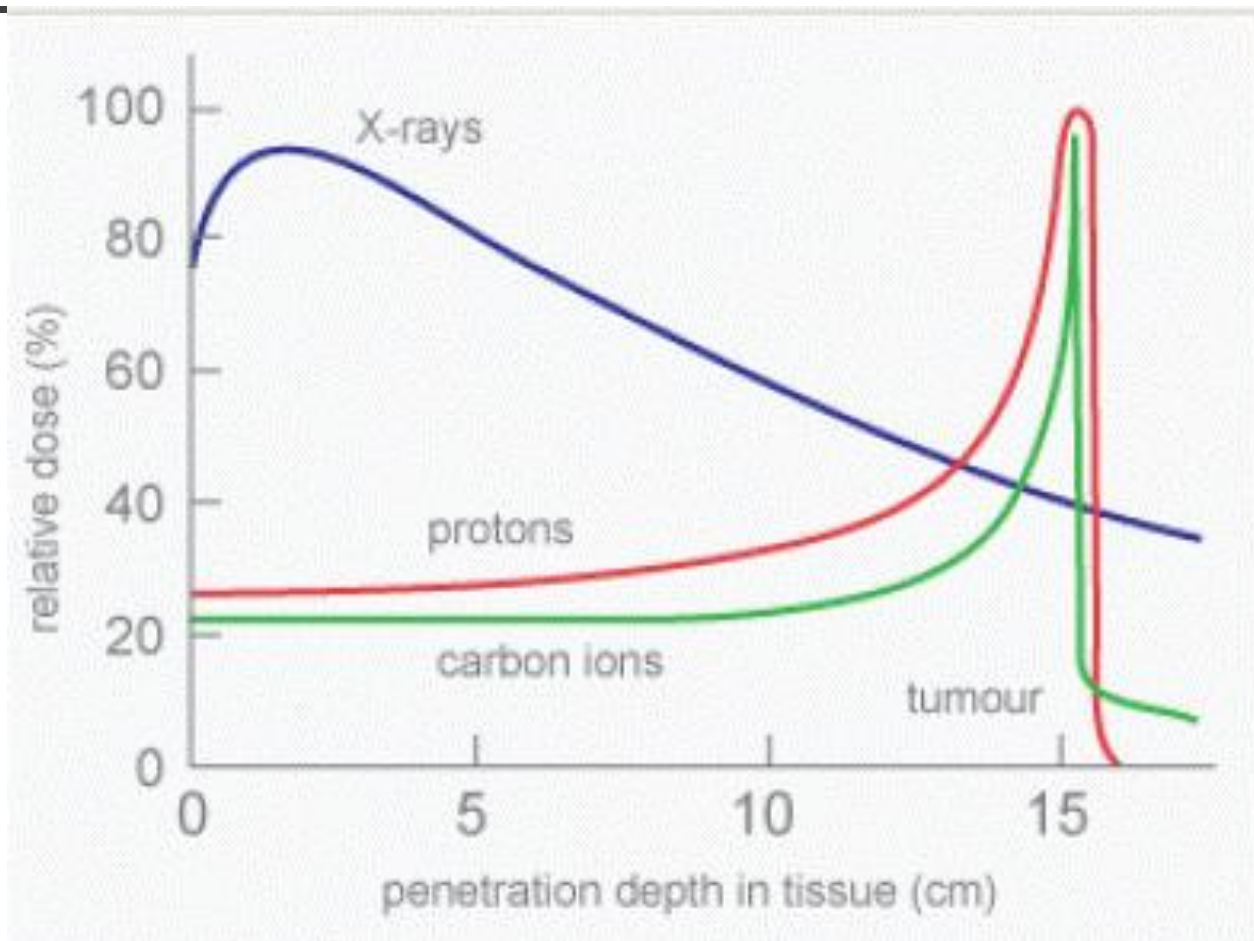
加馬刀(Gamma knife)治療



放射治療-質子治療



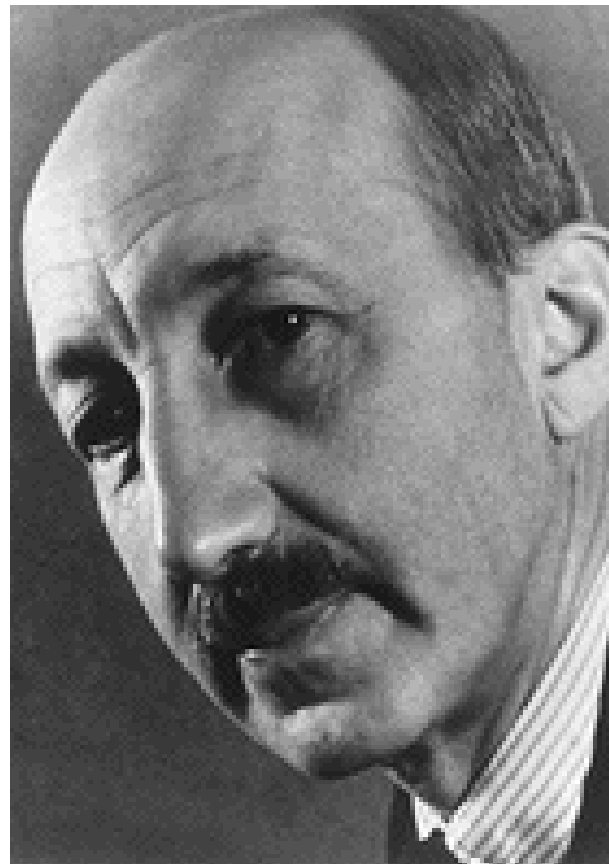
質子、離子與光子劑量分佈



示蹤

use of isotopes as
tracers to study
chemical processes

George de Hevesy
Nobel prize 1943



<http://www.nndb.com/people/235/000099935/george-de-hevesy-1-sized.jpg>

糖解作用 (1/2)



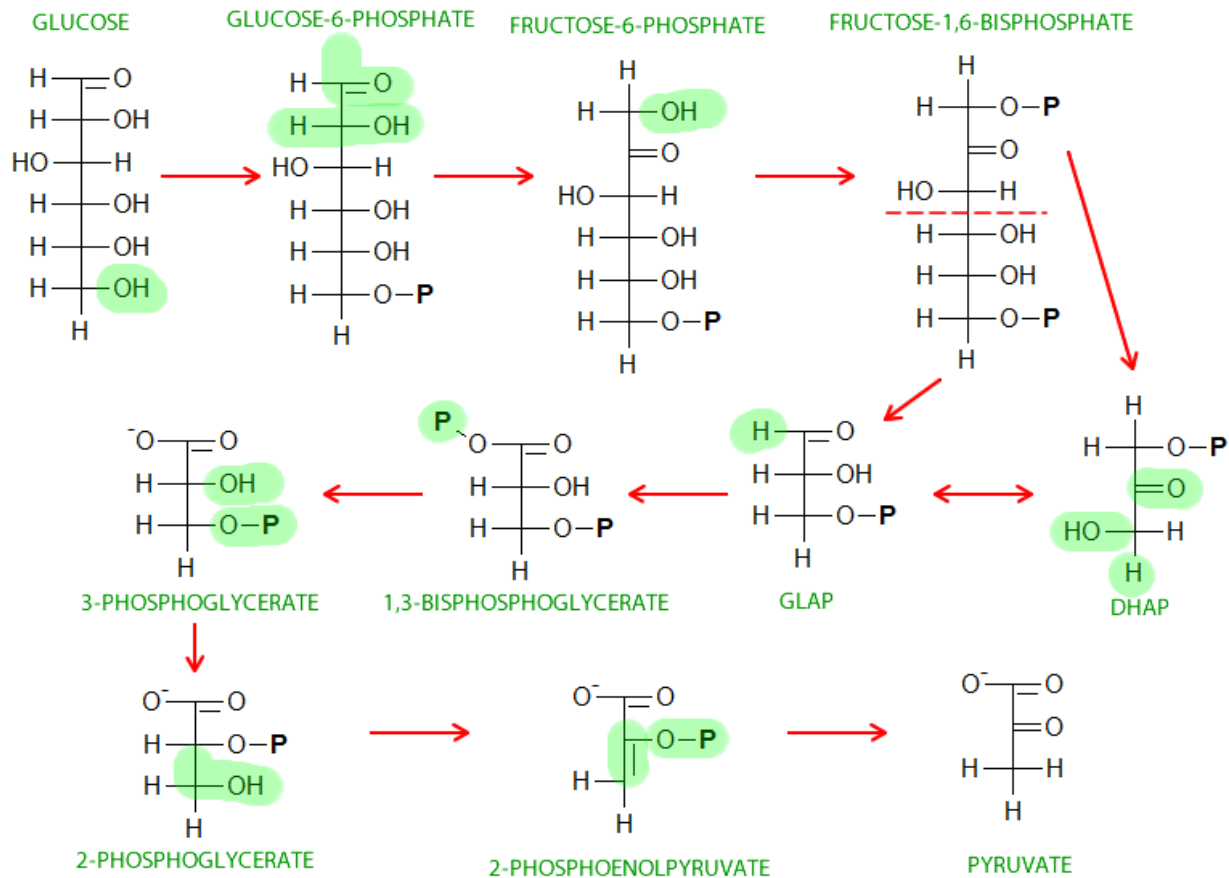
Carl Ferdinand Cori



Gerty Theresa Cori

Nobel prize 1947
catalytic conversion of glycogen

糖解作用 (2/2)



檸檬酸循環^(1/2)

citric acid cycle

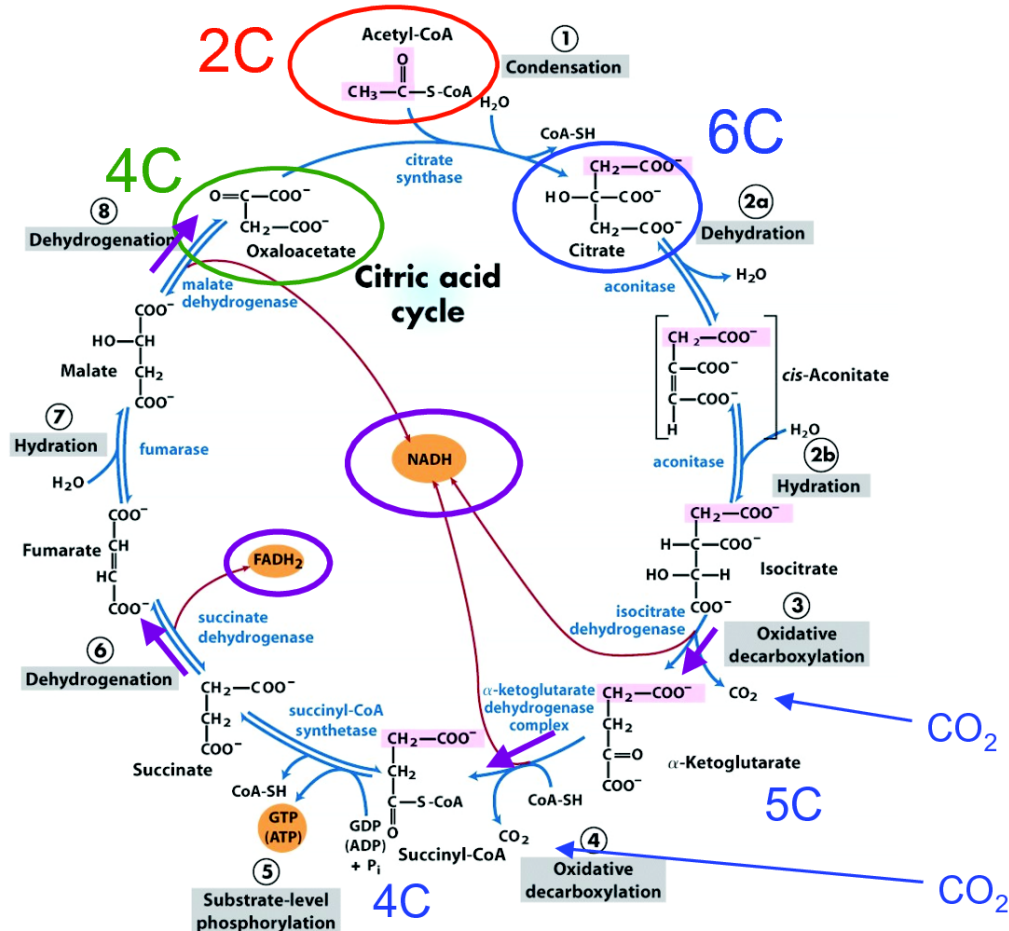
Hans Adolf Krebs

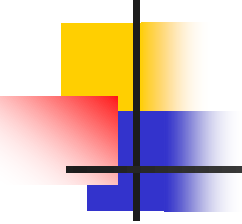
Nobel prize 1953



http://www.jewishvirtuallibrary.org/jsource/images/People/hans_krebs.jpg

檸檬酸循環(2/2)





光合作用 (1/2)

carbon dioxide
assimilation in plants

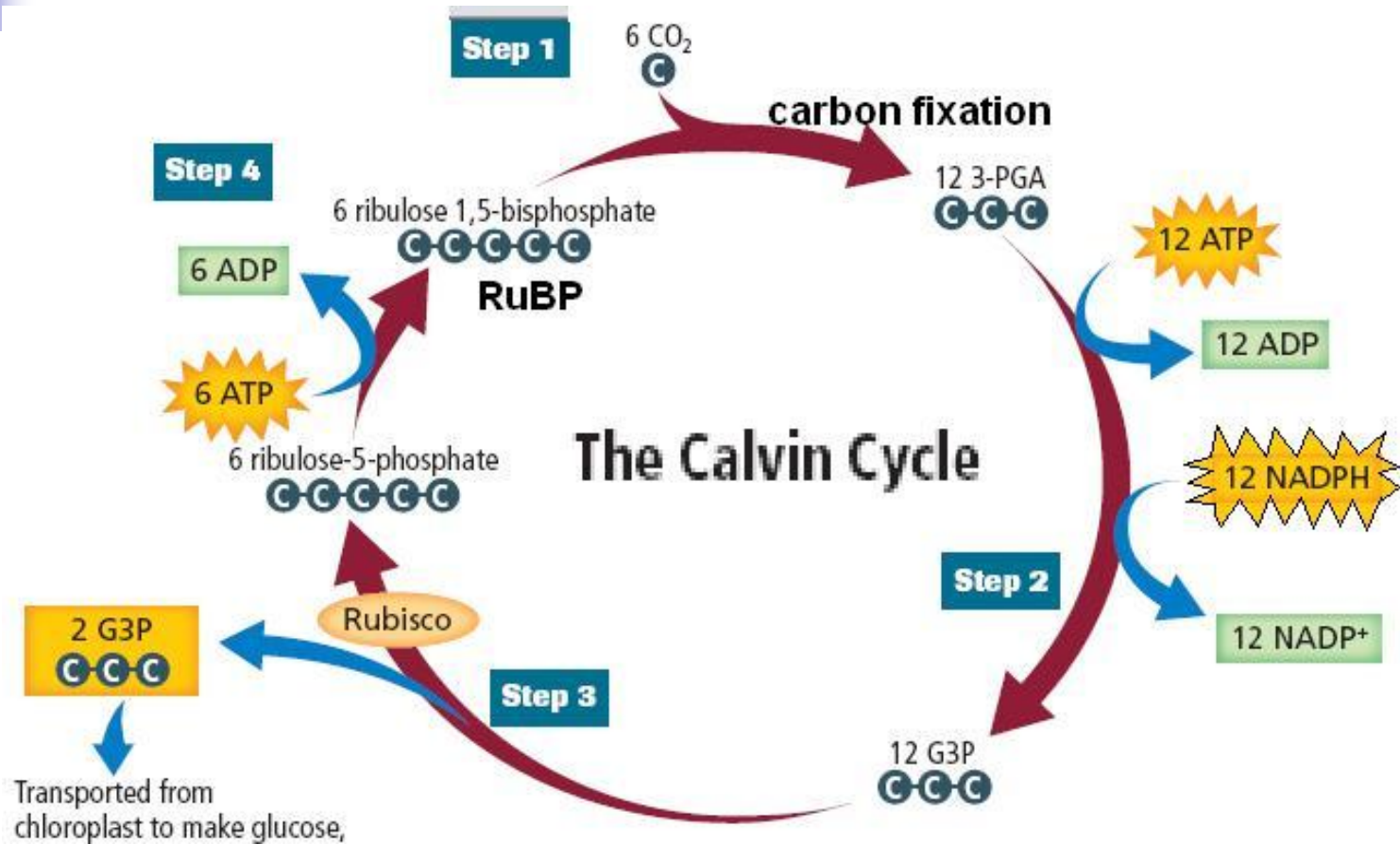
Melvin Calvin

Nobel prize 1961



http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1961/calvin_postcard.jpg

光合作用 (2/2)



放射免疫分析(RIA)

Radioimmunoassay

Rosalyn Yalow

Nobel prize 1977



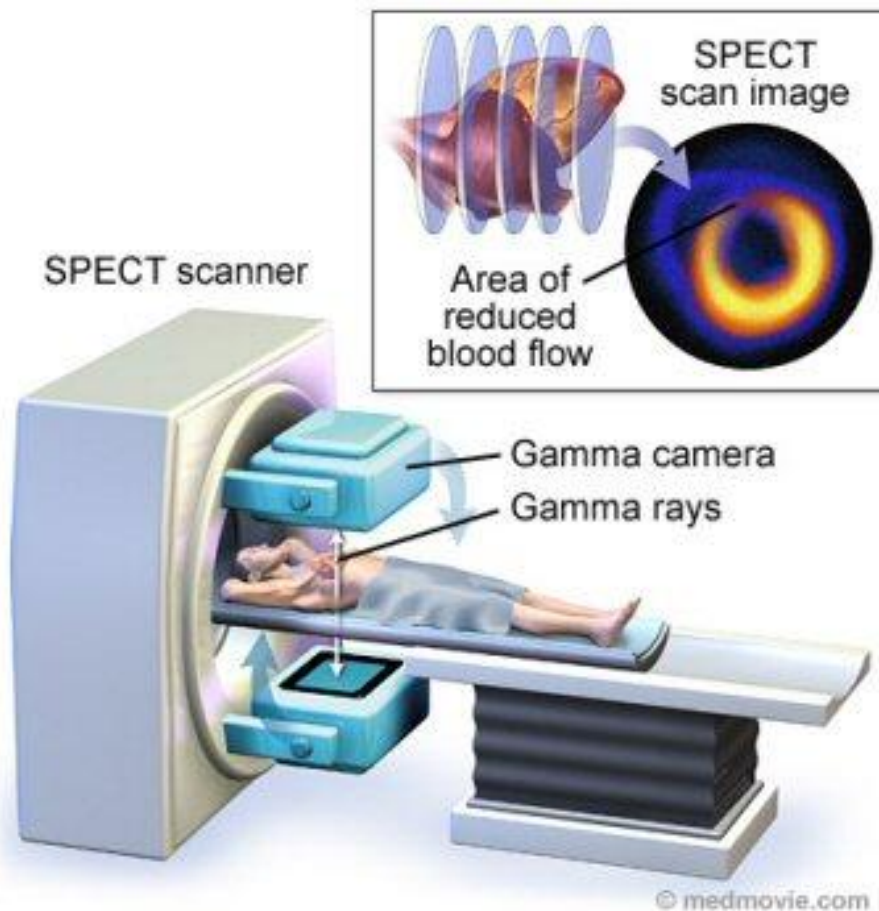
自動放射線撮影



^{137}Cs 落塵

<http://jolisfukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/fukyu/mirai-en/2012/img/honbun/1-35.jpg>

單光子斷層攝影SPECT



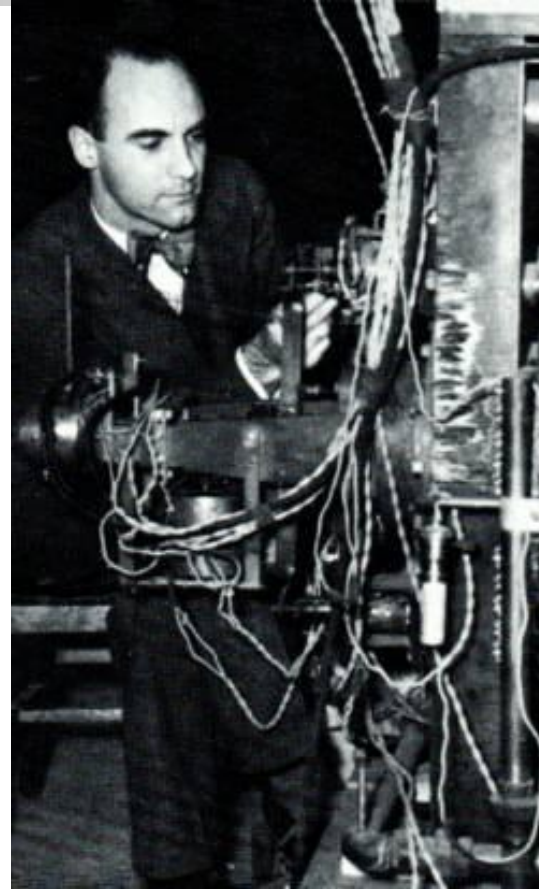
<http://hearthealth.aha-krames.com/RelatedItems/114480.img>

正子之發現(1932)

discovery of the
positron

Carl Anderson

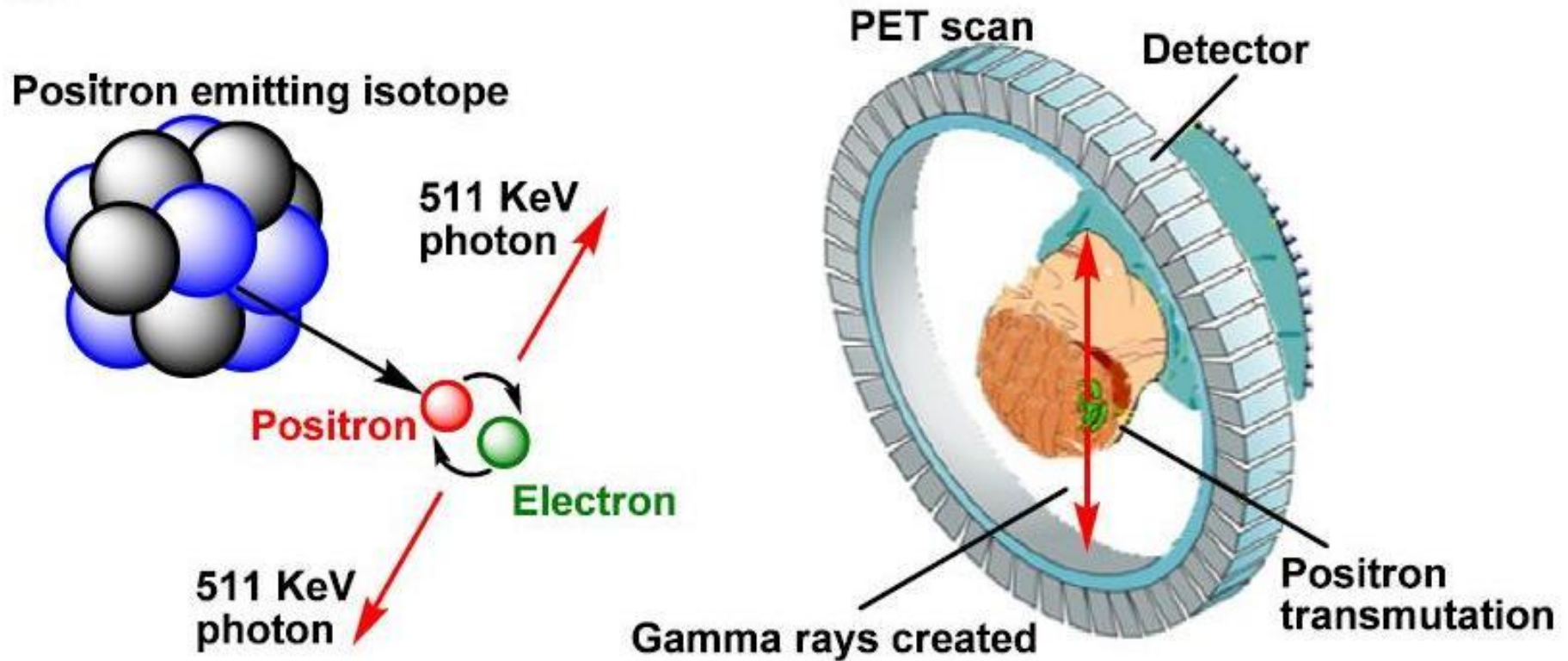
Nobel prize 1936



http://www.thenakedscientists.com/HTML/uploads/RTEmagicC_Carl_anderson.1937.jpg.jpg

正子斷層攝影

positron emission tomography, PET



http://medchem.web.ne.kr/data/file/hotissue/1294736813_5hw.JPG

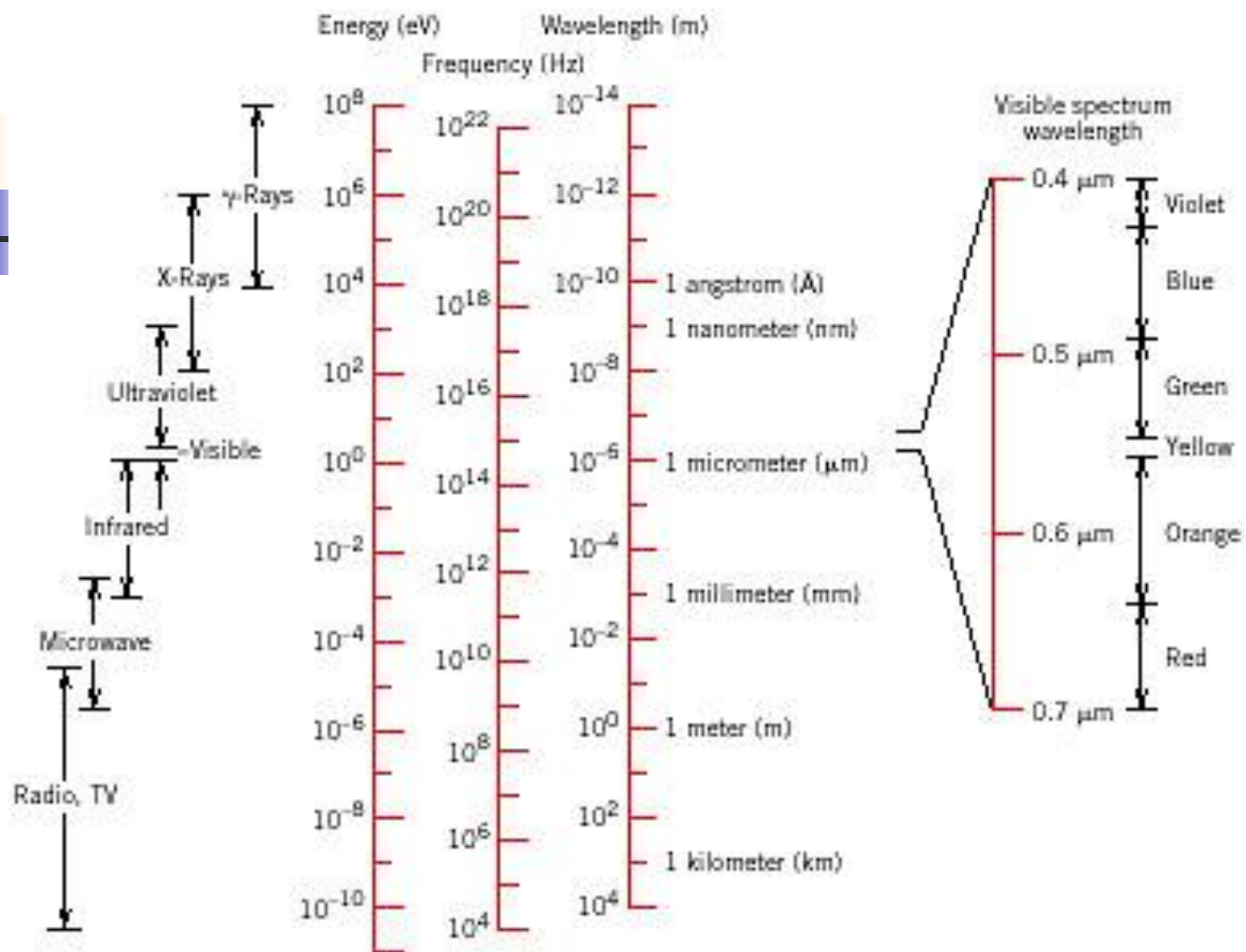


FIGURE 22.2 The spectrum of electromagnetic radiation, including wavelength ranges for the various colors in the visible spectrum.

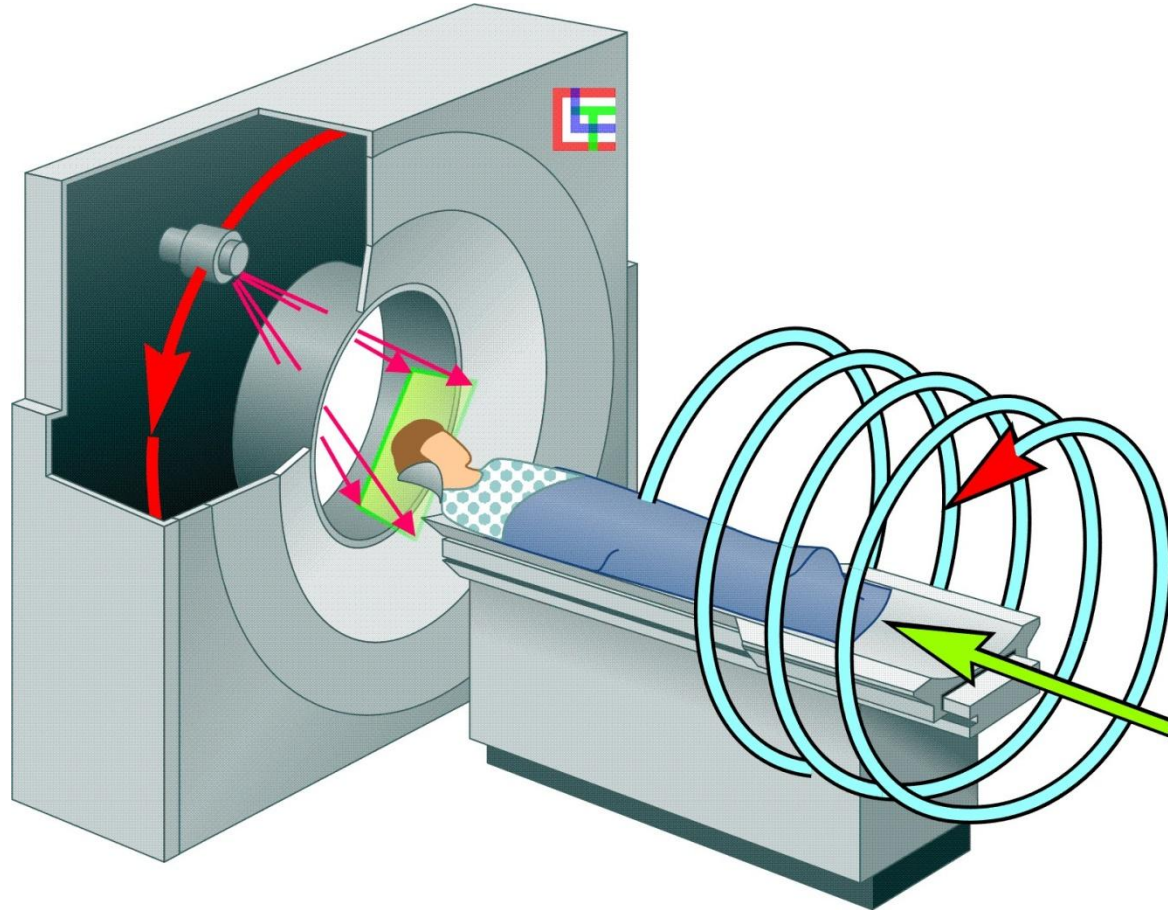
X光貨櫃掃描儀



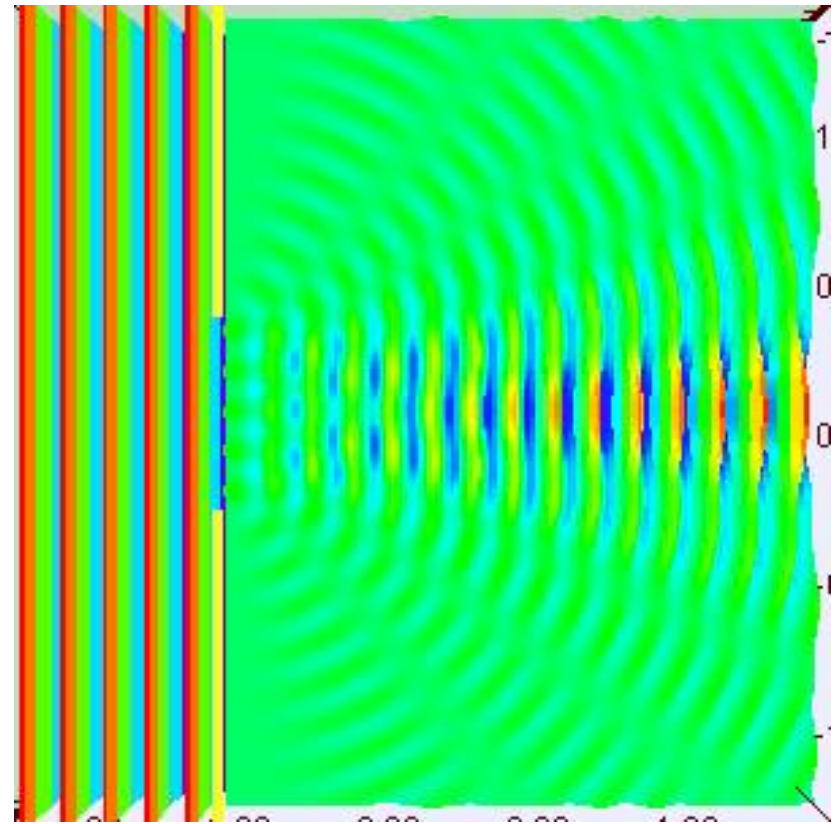
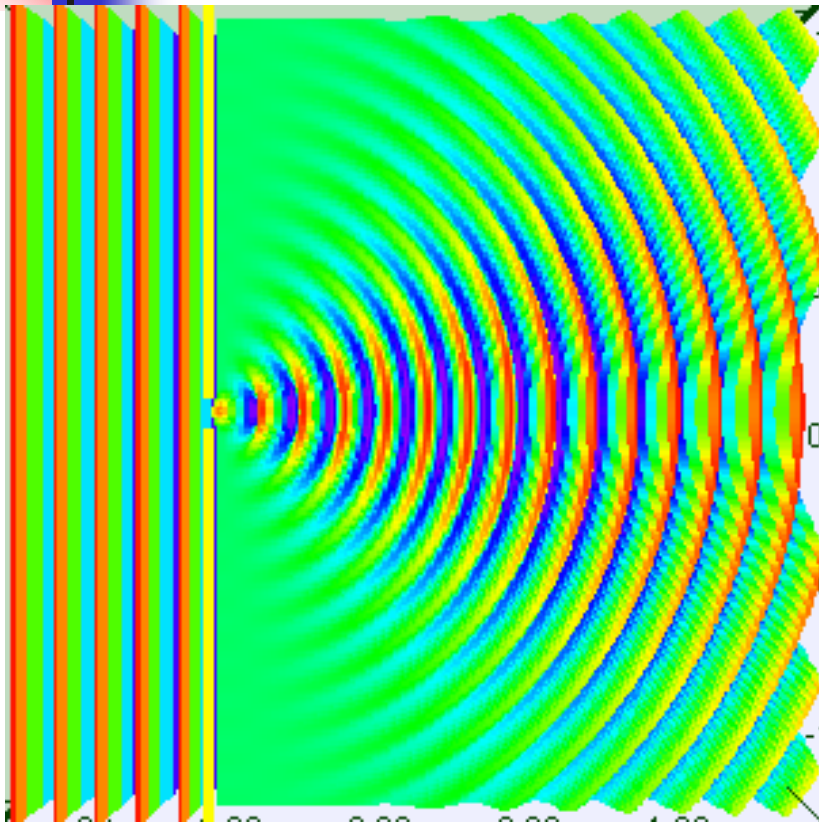
Upper: <https://sp.yimg.com/ib/th?id=JN.E%2bSITIUVXWCf5vB3hbAuFg&pid=15.1&P=0>

Lower: <http://portss.com/images/Truck%202.png>

電腦斷層掃描(CT)



X光繞射(1/3)



Left: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/Wavelength%3Dslitwidthspectrum.gif>

Right: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0a/5wavelength%3Dslitwidthspectrum.gif>

X光繞射(2/3)

molecular structure of
nuclear acids (DNA)

James Dewey Watson

Nobel prize 1962



http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1962/watson_postcard.jpg

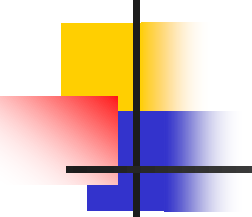
X光繞射(3/3)

determinations by X-ray
techniques of the
structures of important
biochemical substances

Dorothy Crowfoot-Hodgkin

Nobel prize 1964



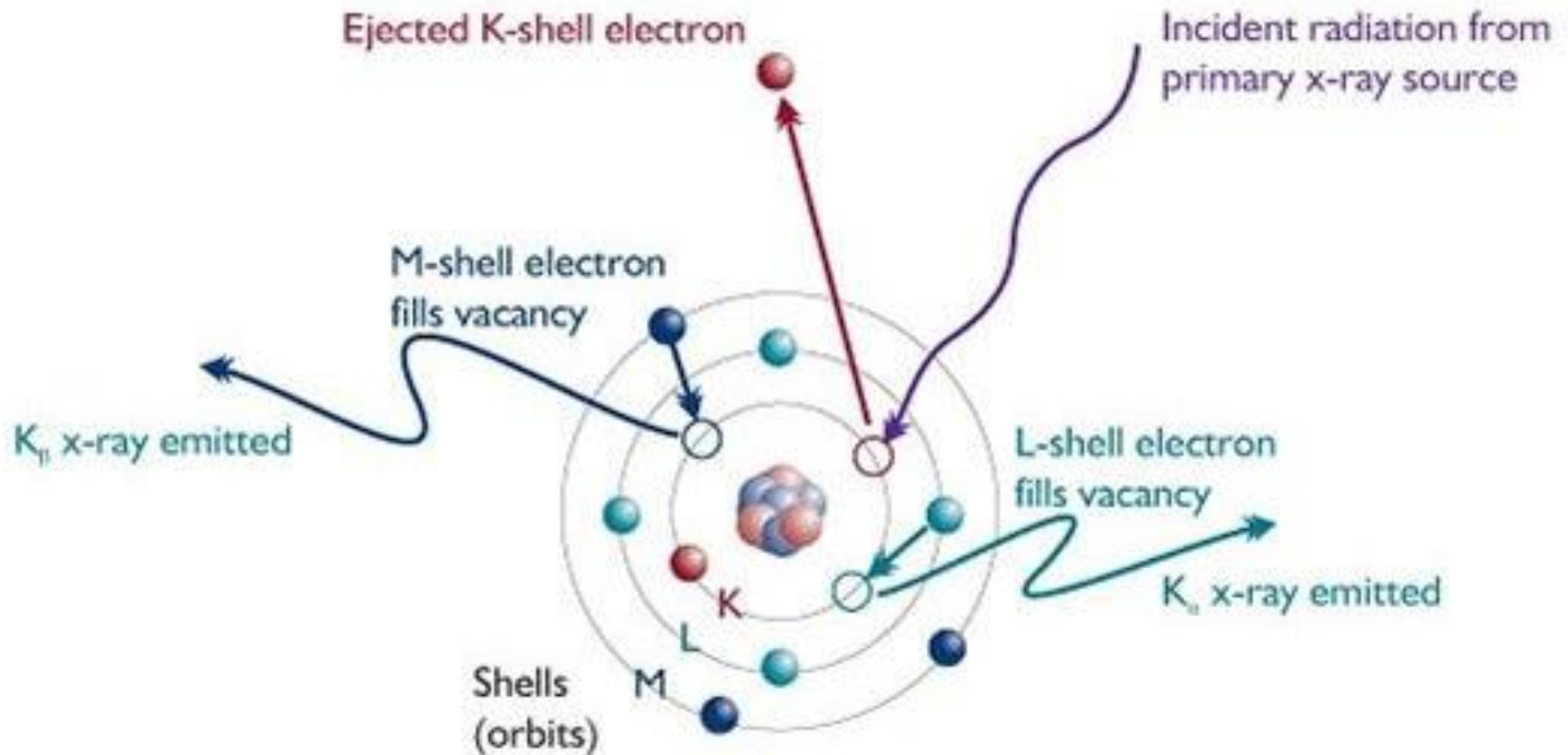


X光螢光分析

X光螢光(X-ray Fluorescence, XRF)分析儀是利用X光束照射樣品以激發樣品中的元素，當原子自激發態回到基態時，偵測所釋放出來的螢光，再經由分光儀分析其能量與強度後，可提供試片中組成元素的種類與含量，具有快速、非接觸、非破壞性、有極低偵測極限及多元素分析等特點。

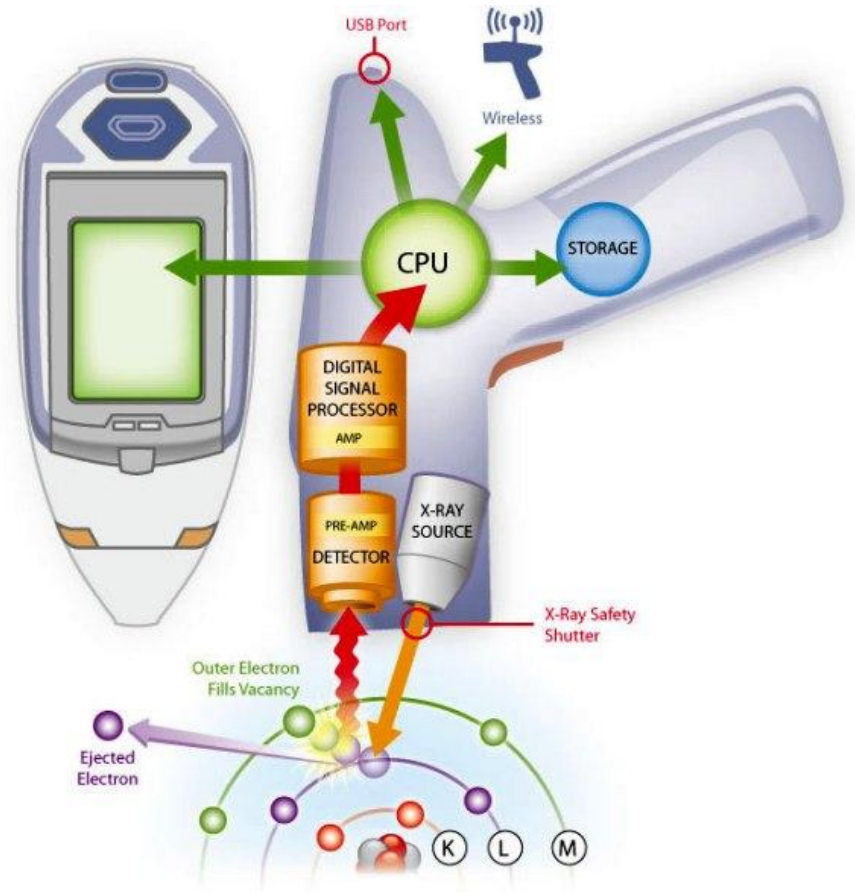
在材料化學純度、製程中半成品監測、土壤中重金屬檢驗、金屬合金分析、生產線環境清潔度等的定性、定量分析均扮演相當重要且稱職的角色。主要的應用有材料的表面分析、材料的總體組成成份分析及各種半導體、生物科技產業的污染源分析等。

X光螢光分析儀(1/2)



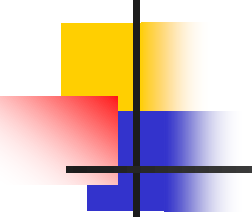
http://museumbulletin.files.wordpress.com/2012/08/xrf_lg1.jpg

X光螢光分析儀(2/2)



Left: <http://www.mctec.nl/wp-content/uploads/2014/11/Genius5000XRF-1.jpg>

Right: <http://www.nachi.org/images10-2/XRF-Gun-Diagram.jpg>

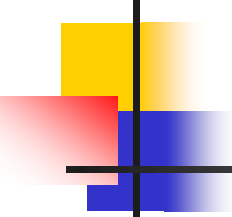


X光繞射儀、X光反射儀

X光繞射儀(X-Ray Diffractometer, XRD)利用X光在晶體中的繞射現象來分析材料的晶體結構、晶格參數、晶體缺陷、不同結構相的量及內應力的方法。在一定晶體結構模型基礎上，此方法根據X光與晶體樣品產生繞射後的信號特徵，計算出樣品的晶體結構與晶格參數，精密度極高。

XRD是分析各種材料(例如金屬、陶瓷、半導體、各種薄膜、單晶材料、磊晶片等)不可或缺的分析儀器。

X光反射儀(X-Ray Reflectometer, XRR)則利用X光在晶體表面的反射現象來分析材料表面或薄膜的厚度、平滑性、密度等。



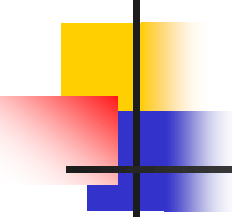
離子束分析

粒子誘發特性X射線(Particle induced x-ray emission, PIXE)

拉塞福回散射(Rutherford backscattering, RBS)

中能量離子散射儀(Medium energy ion scattering, MEIS)

加速器質譜儀(Accelerator mass spectrometry, AMS)



非破壞檢測

液位

測漏

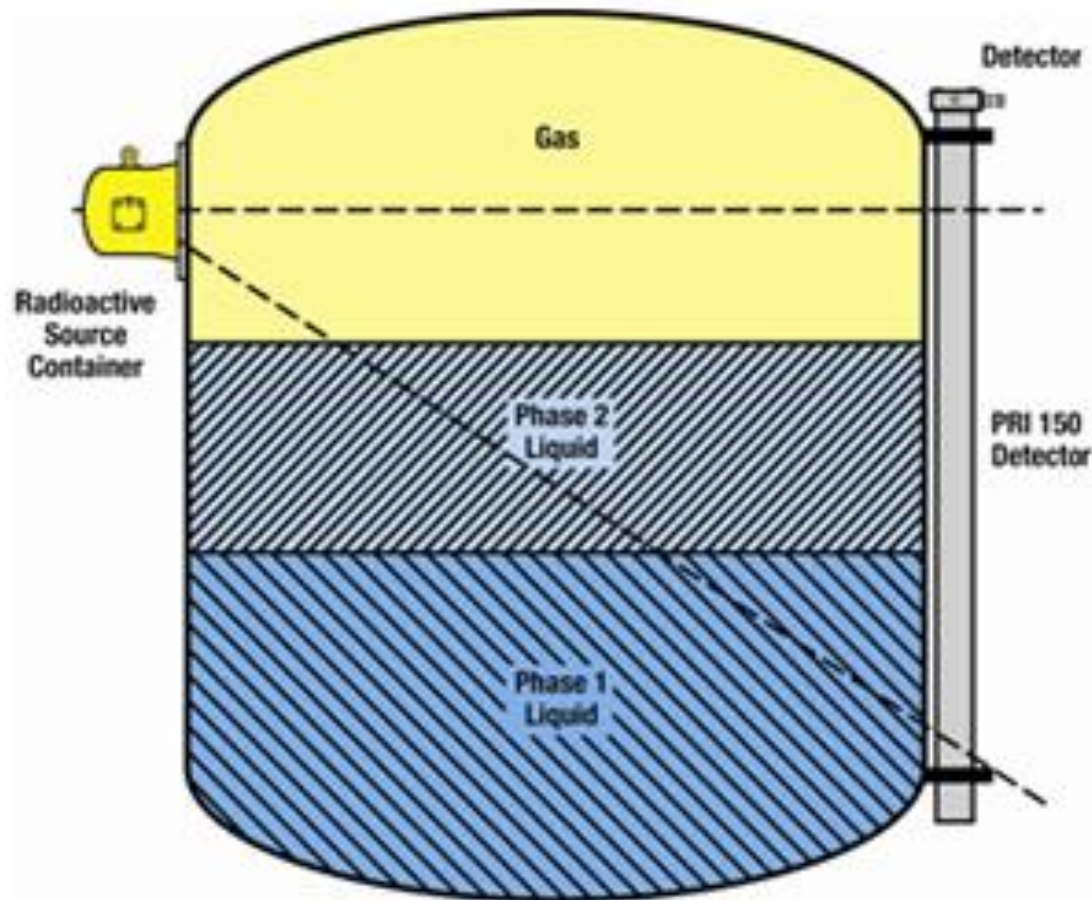
密度

含水量

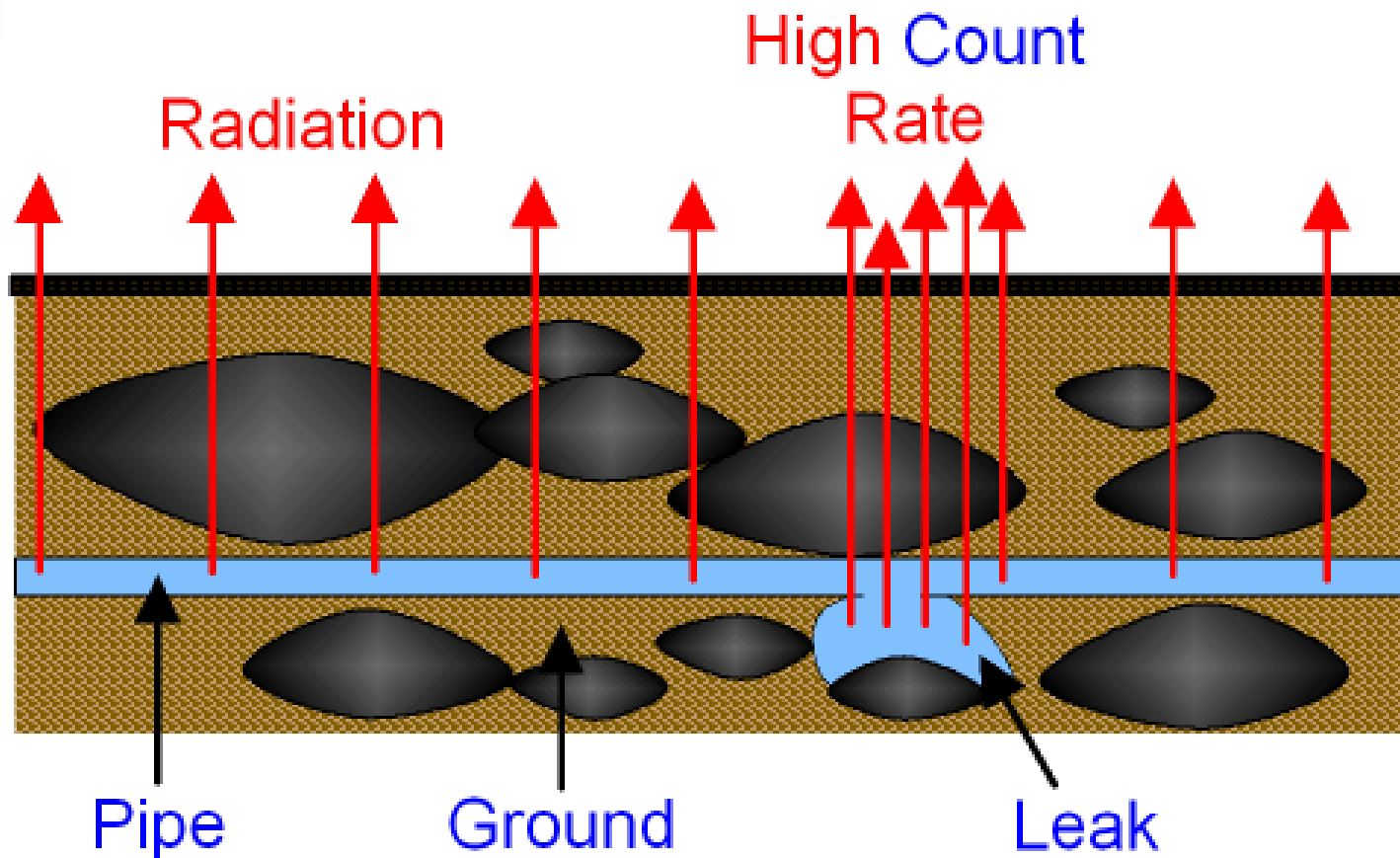
厚度

造影

非破壞檢測-液位警戒

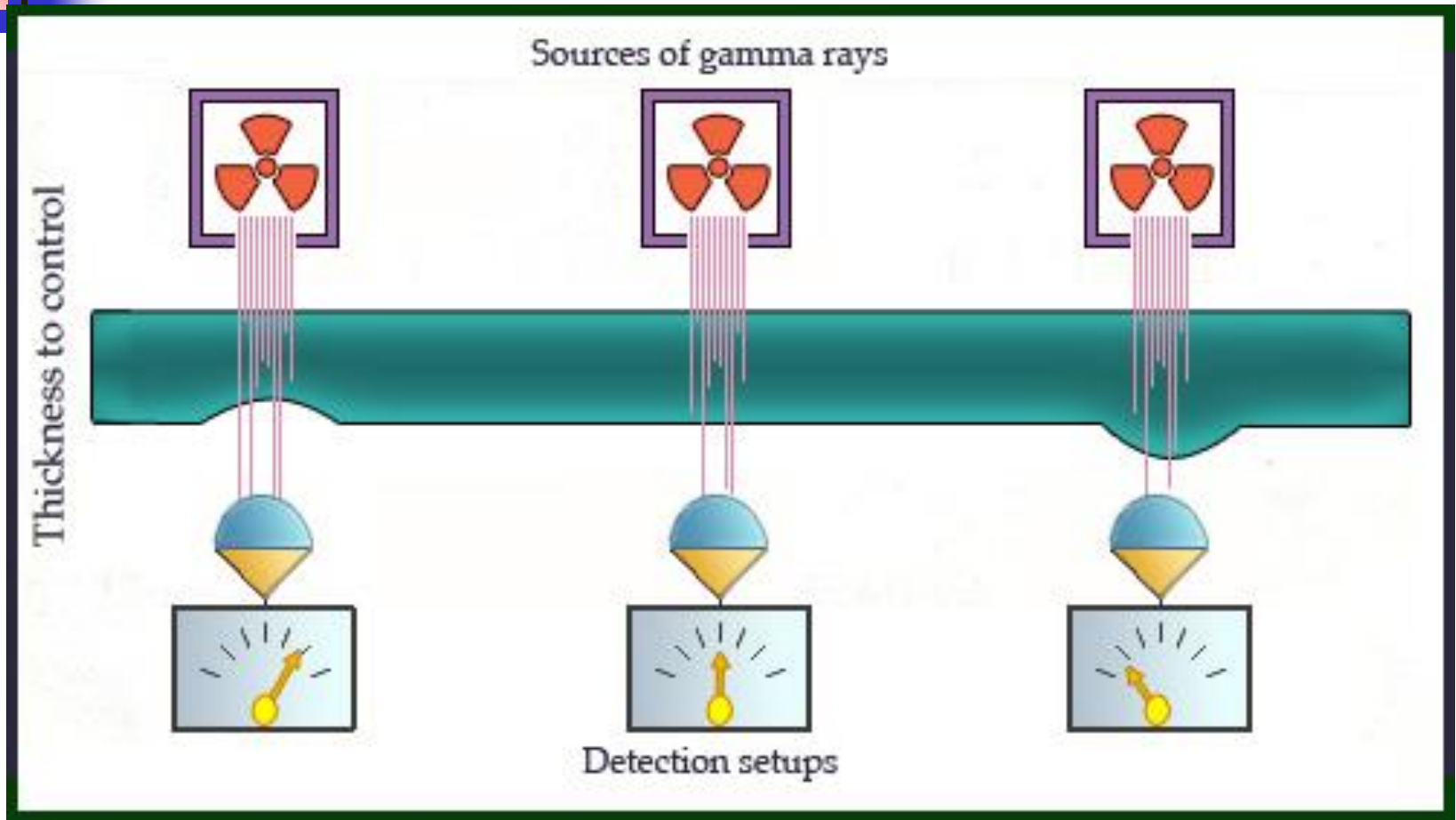


非破壞檢測-測漏

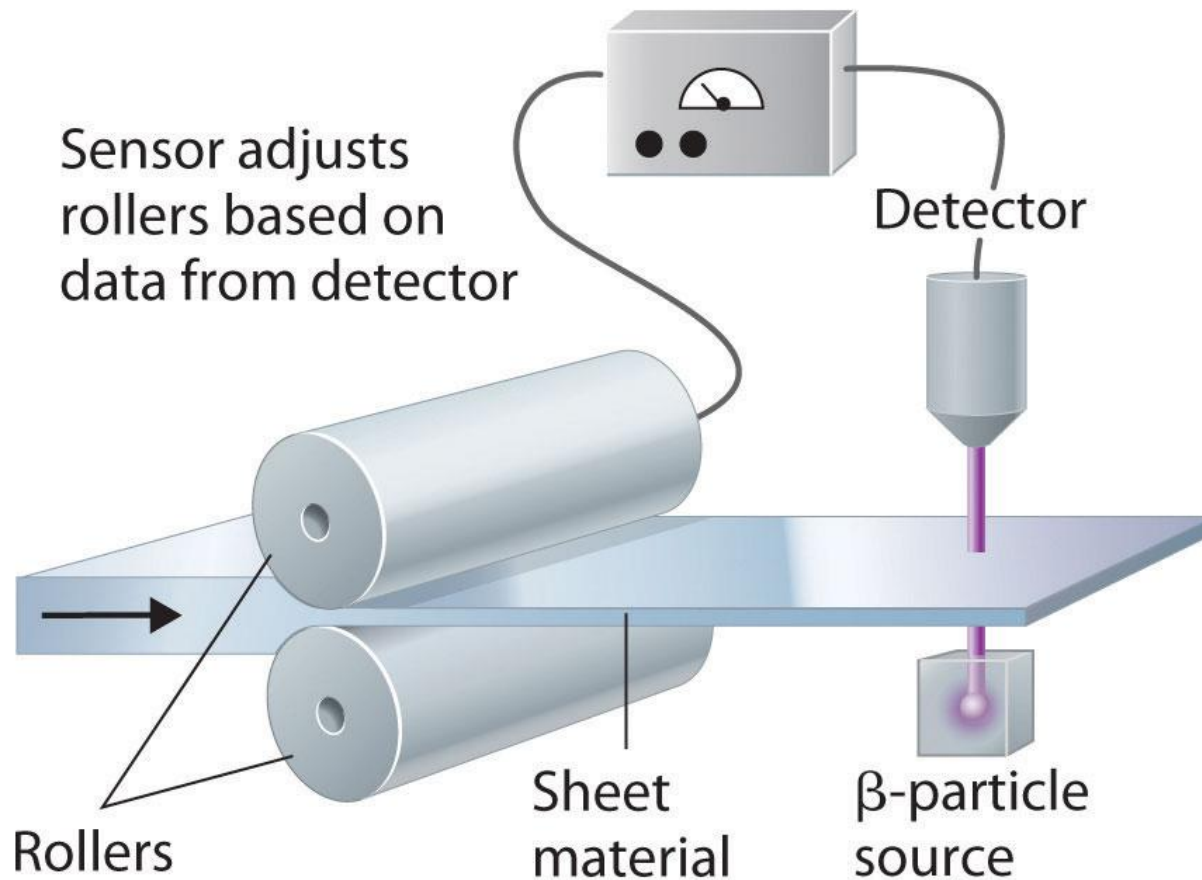


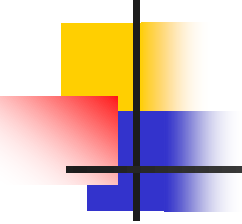
<http://www.gcscience.com/radioactive-tracer-pipe.gif>

非破壞檢測-品管



非破壞檢測-厚度

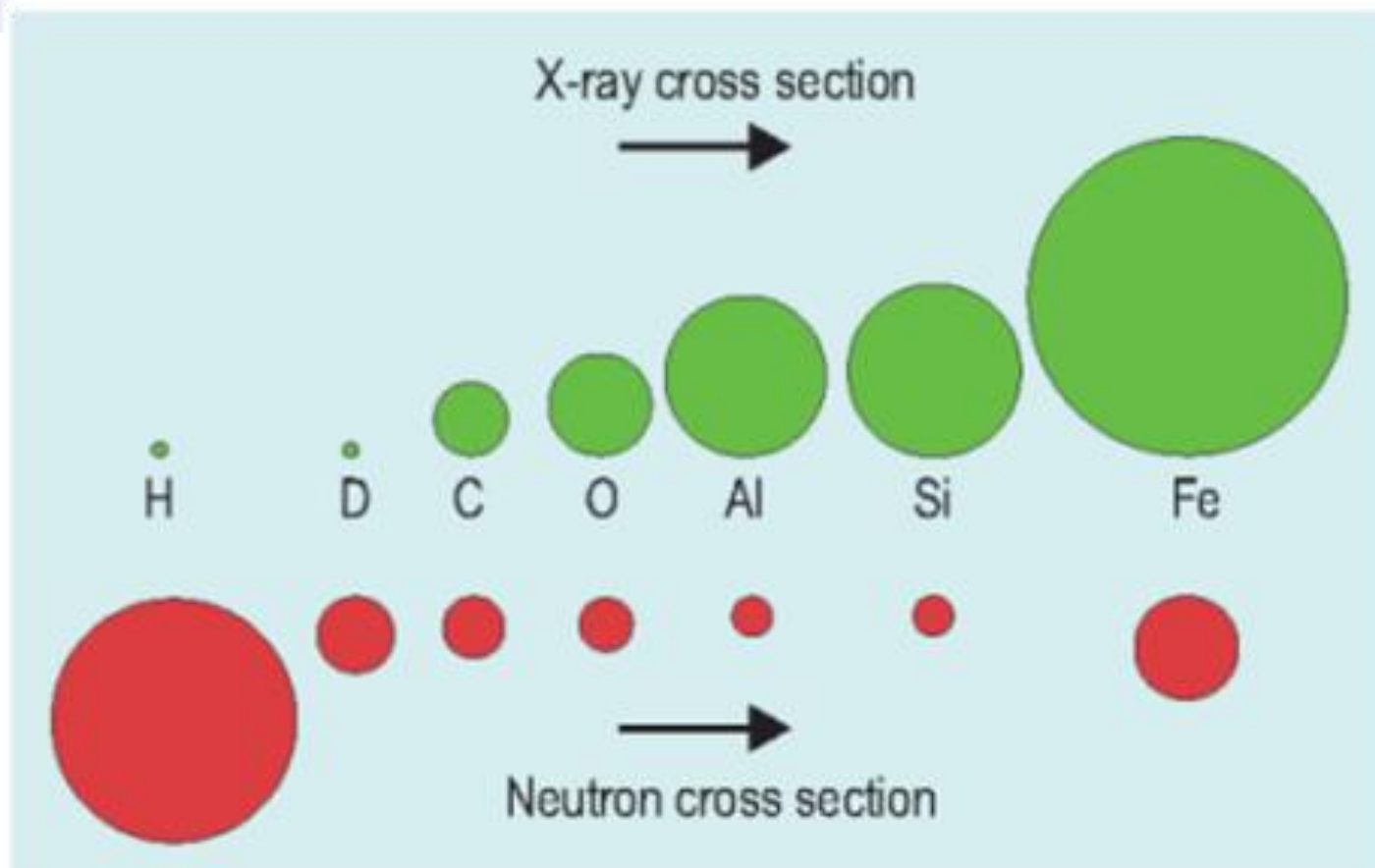


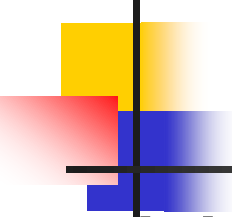


中子照相

中子照相利用中子對物體各部位產生不同的散射及吸收作用，形成影像，此成像方式與X光照相檢驗類似，但中子與物質作用方式和X光與物質作用的方式不同(中子照相適用於含有氫或其他輕元素的非破壞性檢驗)，其結果常與X光照相檢驗有相輔相成的作用。

中子照相(1/3)

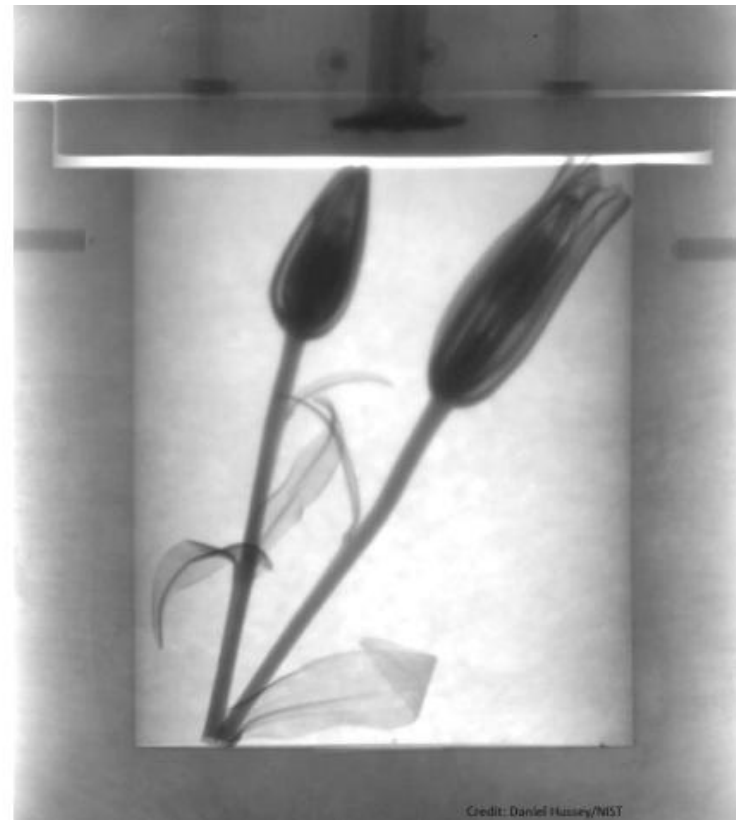




中子照相(2/3)

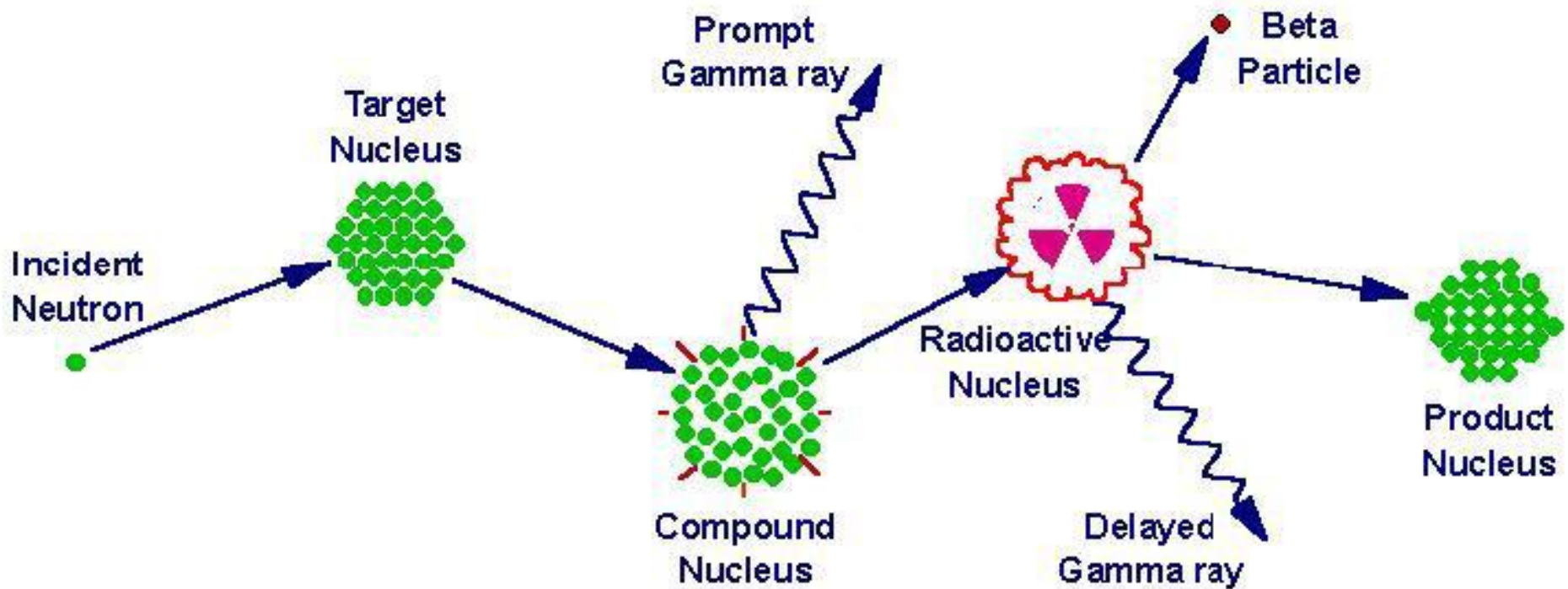
(1)一般工業(如氣冷式渦輪機葉片陶心殘留物檢測、各型傳爆雷管藥心連續性檢測、金屬密封組件內部濕氣及腐蝕性檢測、密封元件內粘結或裝配檢驗、航空器部分零組件檢驗等)。(2)核能工業(如核燃料均勻性、燃料護套完整性)。(3)食品業(如食物中水分含量)。(4)地質(如土壤中水分含量)。(5)農業(如觀察植物根部生長情形)等。

中子照相(3/3)

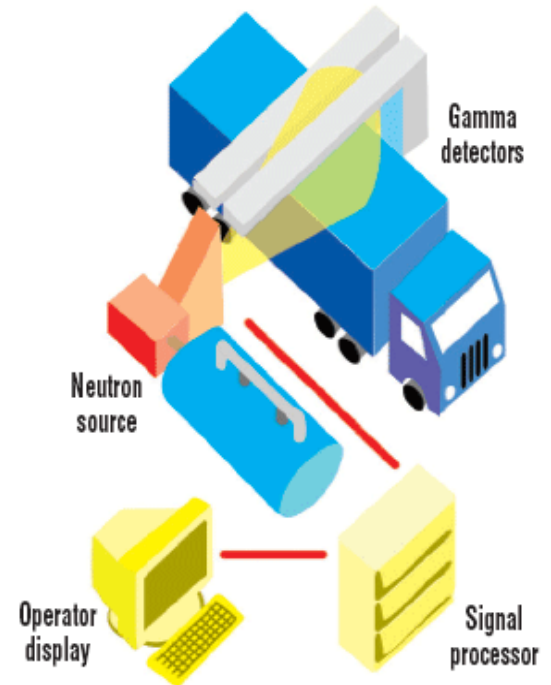
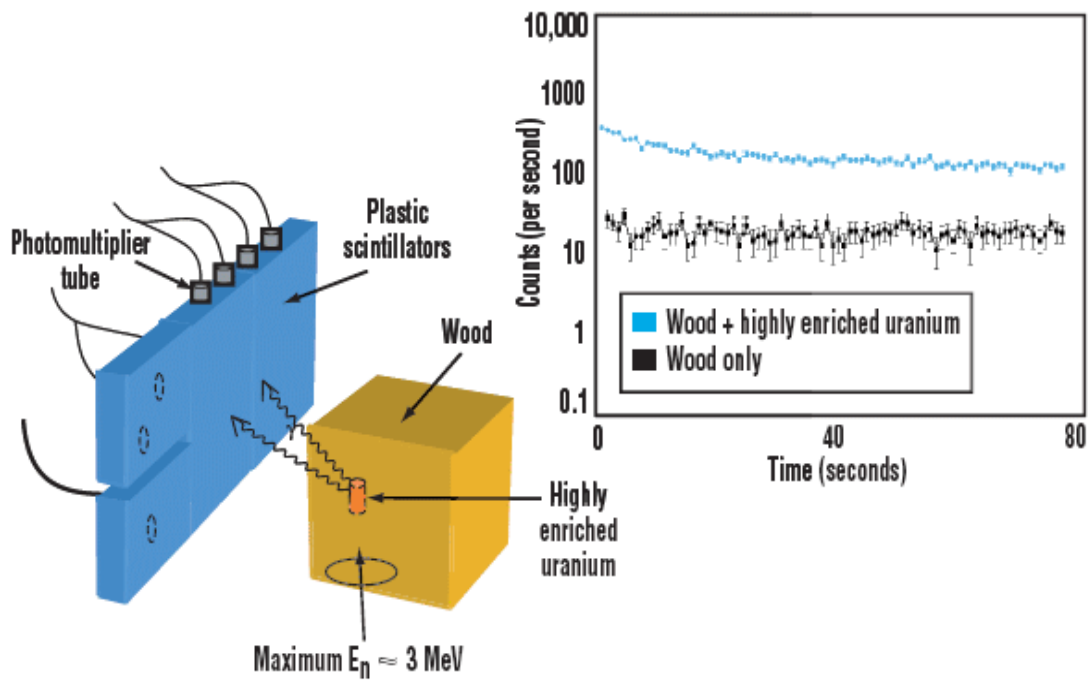


<http://www.darpa.mil/uploadedImages/Content/NewsEvents/Releases/2014/ICONSWebfeaturephoto.jpg>

中子活化分析(1/2)

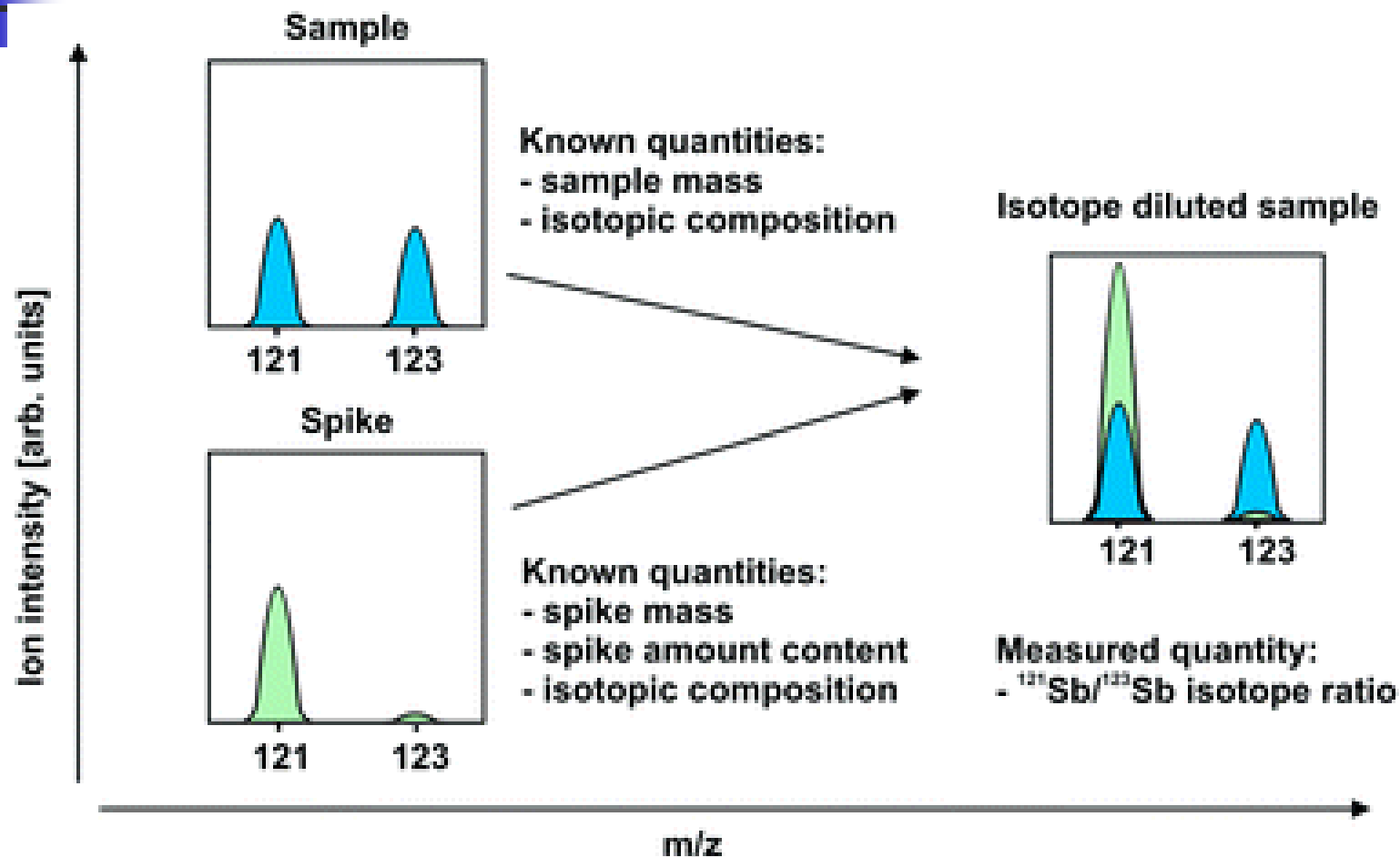


中子活化分析(2/2)

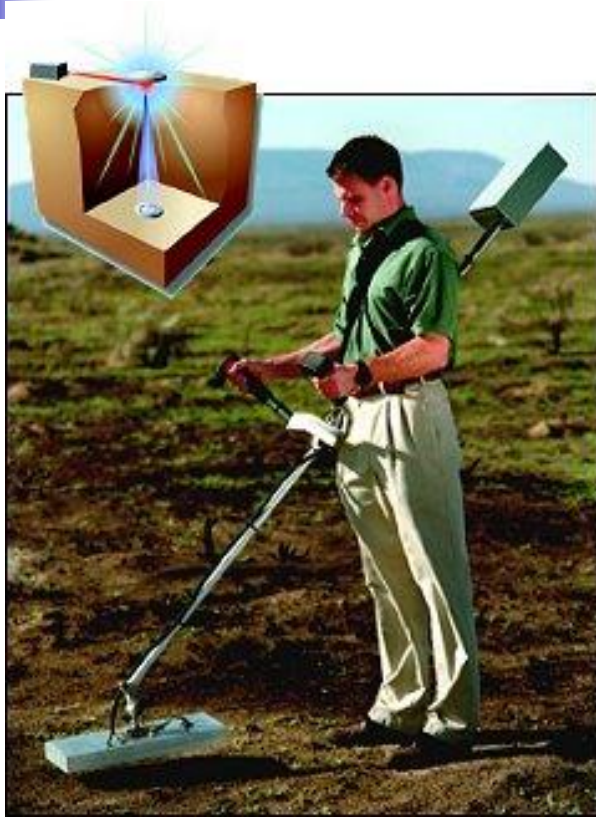


http://electronicdesign.com/files/29/12836/figure_03.gif

同位素稀釋分析

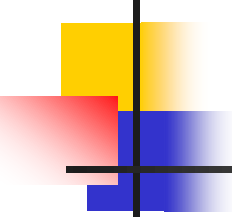


中子應用-地雷探測



Left: <http://archives.sensorsmag.com/articles/1200/12/neutron.jpg>

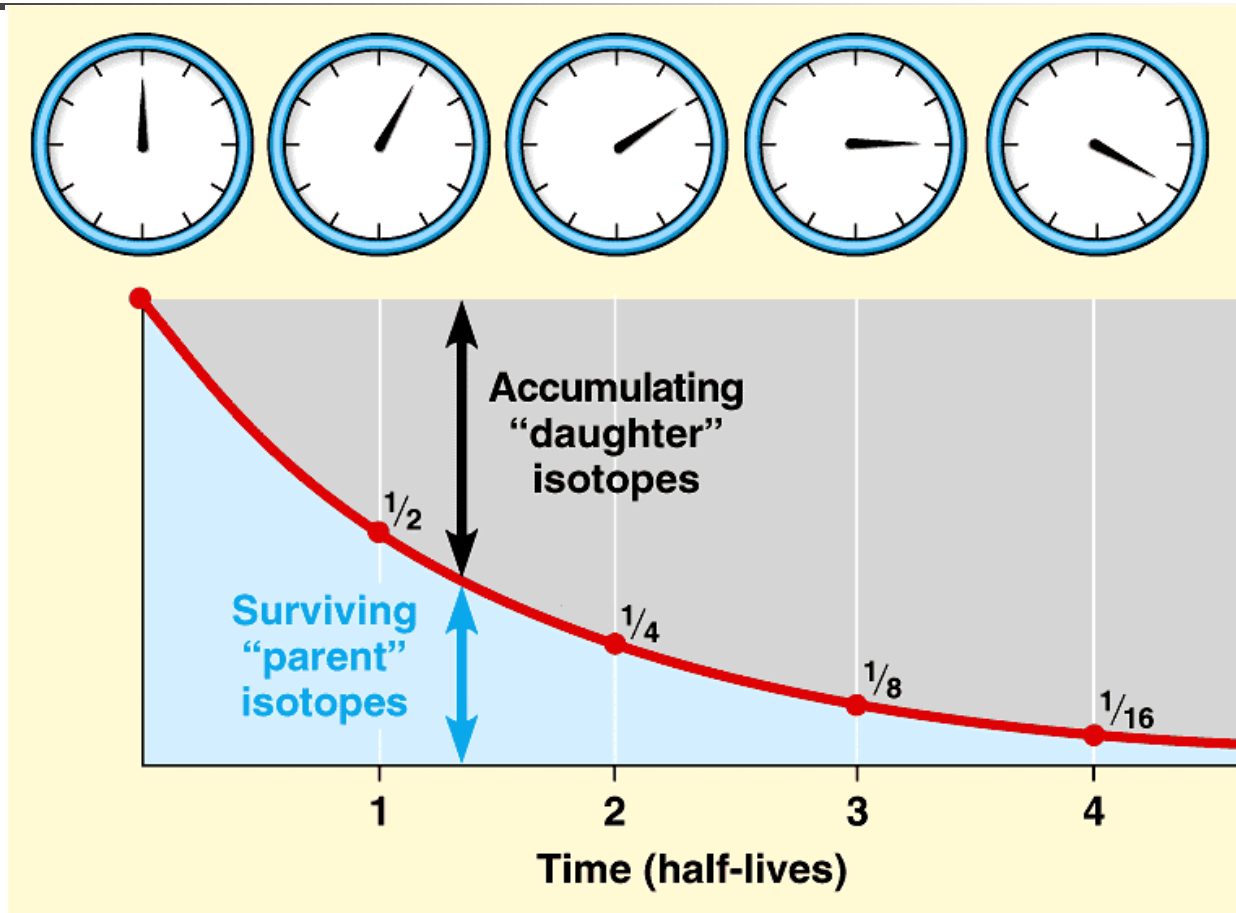
Right: http://www.faculty.rsu.edu/users/c/clayton/www/sasnett/paper_files/image002.jpg

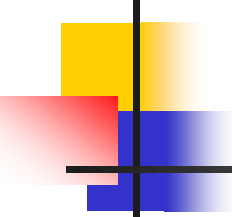


碳定年法

碳-14是因宇宙射線撞擊地球大氣層而產生的，碳-14氧化成二氧化碳後會被植物吸收。同時，動物又會進食植物，所以大部份有機體都會有一定份量的碳-14。但當植物和動物死去，他們便會停止吸取碳-14。碳-14的份量因衰變會隨時間而減少，每經過一個半衰期(即大約5,730年)，含量便會減半。透過量度古代有機體的碳-14含量，我們便可以估計有機體的死亡年份。

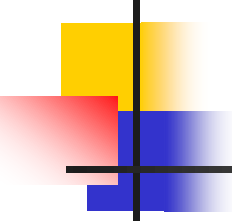
同位素定年法





熱釋光定年法

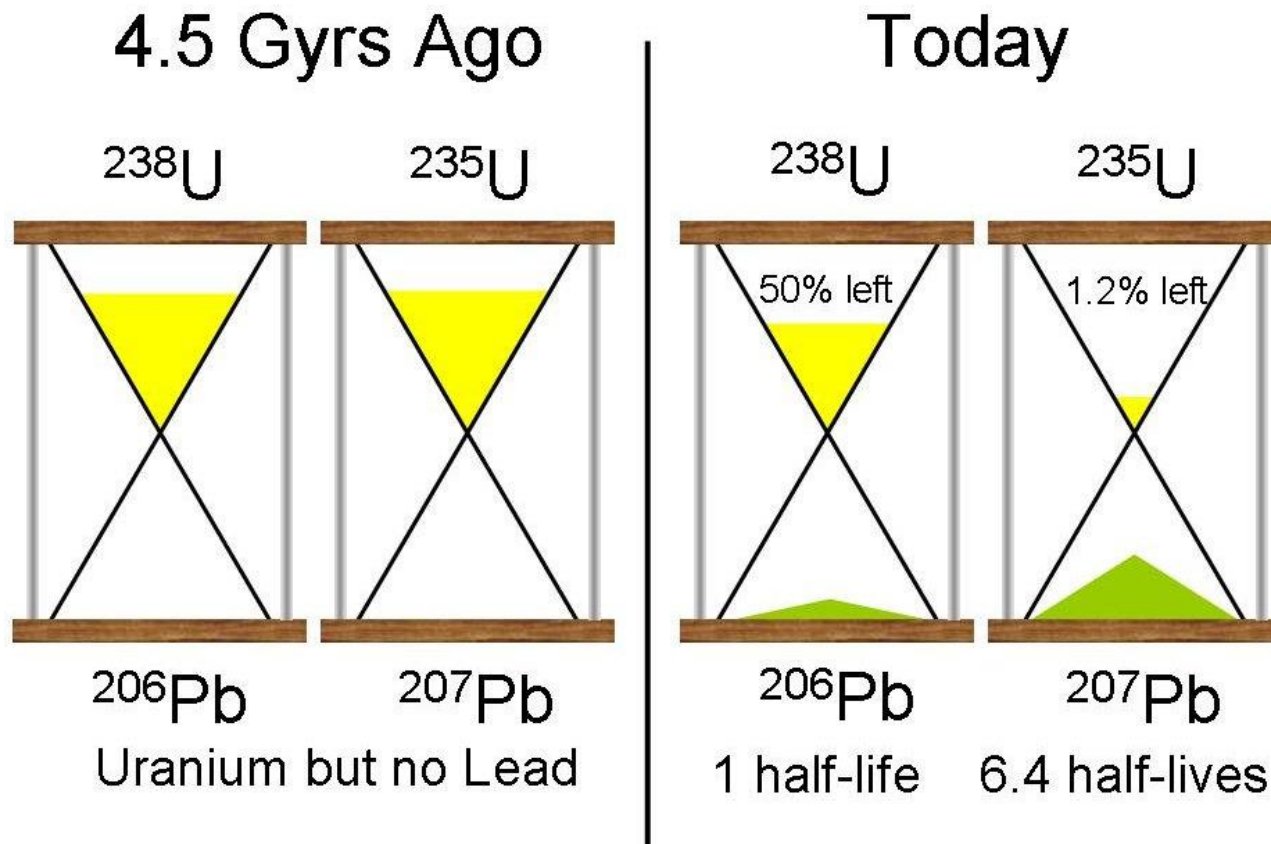
泥土中含有微量的鈾、釷和鉀等天然放射性物質，這些同位素的半衰期可以長達10億年，同時，粘土中又含有各種無機晶體和礦物質，當無機晶體受到上述放射性物質照射後，一部份輻射能量會令晶體發熱，另一部分能量則貯藏在晶體中。如果晶體被加熱，部份能量會以可見光的形式釋放出來，此現象叫做熱釋光現象，利用此原理定年稱為熱釋光定年法。此法常被用作判斷陶器的年代。

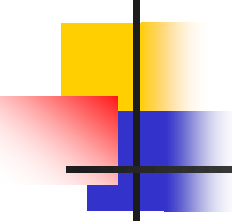


鈾鉛定年法(1/2)

自然界鉛礦中，總是含有少量的鈾238(半衰期約45億年)，鈾238會依特定路徑緩慢地逐步蛻變，在蛻變過程中生成的其他中間產物(如鐳226與鉛210)，均不斷地獲得補充而能互相維持量的平衡。若鉛從鉛礦中被提煉出來，大部份的鐳會在提煉的過程中除去，使鉛210的濃度遠大於鐳226的濃度，一直到夠長的時間之後，鉛210經由蛻變逐漸減少，才可能再和剩下少量的鐳226達到平衡。

鈾鉛定年法(2/2)





鉀氫定年法

鉀氫定年法利用鉀氫同位素的蛻變關係，量測岩石礦物的「絕對年代」。鉀氫定年法可分析的年代範圍由地球年齡四十六億年至十萬年左右。更年輕的年齡，除非是鉀元素含量高的特殊標本，否則無法精確地分析。由於地殼岩層中含有鉀元素的礦物普遍存在，材料容易取得，所以鉀氫定年法成為重要且常用的定年法之一。



定年法

Parent	Half-life (10^9 yrs)	Daughter	Materials Dated
^{235}U	0.704	^{207}Pb	Zircon, uraninite, pitchblende
^{40}K	1.251	^{40}Ar	Muscovite, biotite, hornblende, volcanic rock, glauconite, K-feldspar
^{238}U	4.468	^{206}Pb	Zircon, uraninite, pitchblende
^{87}Rb	48.8	^{87}Sr	K-micas, K-feldspars, biotite, metamorphic rock, glauconite

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Nuclear/imgnuc/clockrock.gif>

課程名稱:輻射防護實習或見習
(1)偵測器度量操作 (2)屏蔽實驗
(3)X光機操作實習與輻射測量

講員：陳厚語
(輻專師字第0824號)
(醫放字第003360號)

偵檢器度量

請參考：輻射度量課程

▶ 常用的輻射偵檢器

- ▶ ATOMTEX AT-1121
- ▶ Inspector

輻射防護器材

- ▶ 鉛衣
- ▶ 鉛板

個人輻射防護

- ▶ 呼吸器

X光機

- ▶ 依現場現有設備為主



偵檢器原理



輻射偵檢器

▶ 1. 充氣式偵檢器

- ▶ 游離腔型、比例型、蓋格型

▶ 2. 半導偵檢器

- ▶ 矽 (Si)
- ▶ 鍺 (Ge)
- ▶ 銻化鎘 (CdTe)

▶ 3. 閃爍偵檢器

- ▶ 有機：液態閃爍偵檢器等
- ▶ 無機：固態碘化鈉（鉀）晶體等

▶ 4. 劑量計

- ▶ 人員： $\text{LiF} + \text{LiF}$ （被動型）、矽（主動型）
 - ▶ 環境： $\text{CaF}_2 + \text{LiF}$
-



輻射偵檢器（劑量計）使用特性

偵檢器	作用機制	輸出訊號	偵檢種類
充氣式偵檢器			$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
游離腔	游離	平均電流	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
比例型	游離	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
蓋格型	游離	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
半導體偵檢器	電子-電洞	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
閃爍體偵檢器	激發；光子；電子	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
熱發光劑量計	激發；光子；電子	電壓脈衝	β, γ, χ

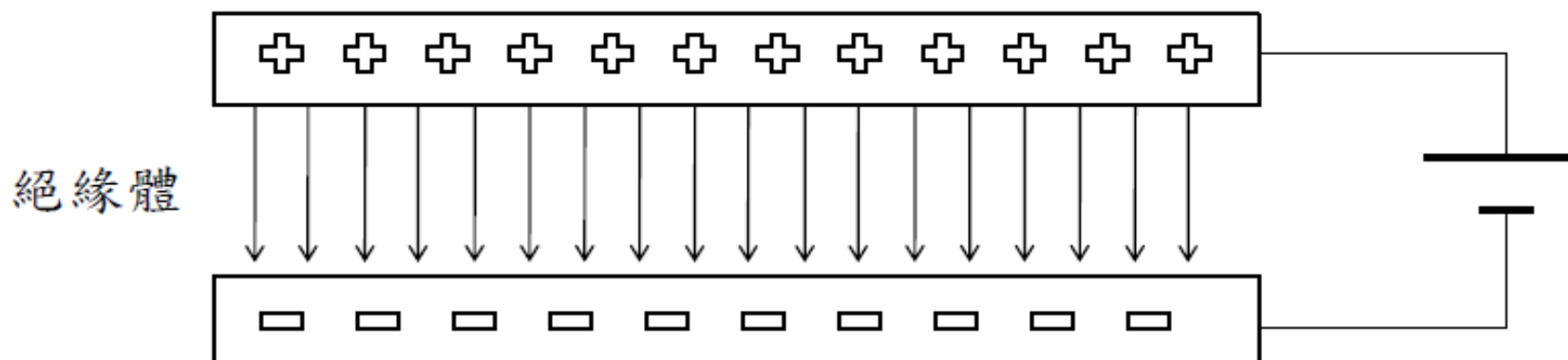
充氣式偵檢器



基本操作原理

1. 充氣式偵檢器

- 像一顆電容
- 在腔管內產生一個游離電子電所需約 20~45 電子伏特

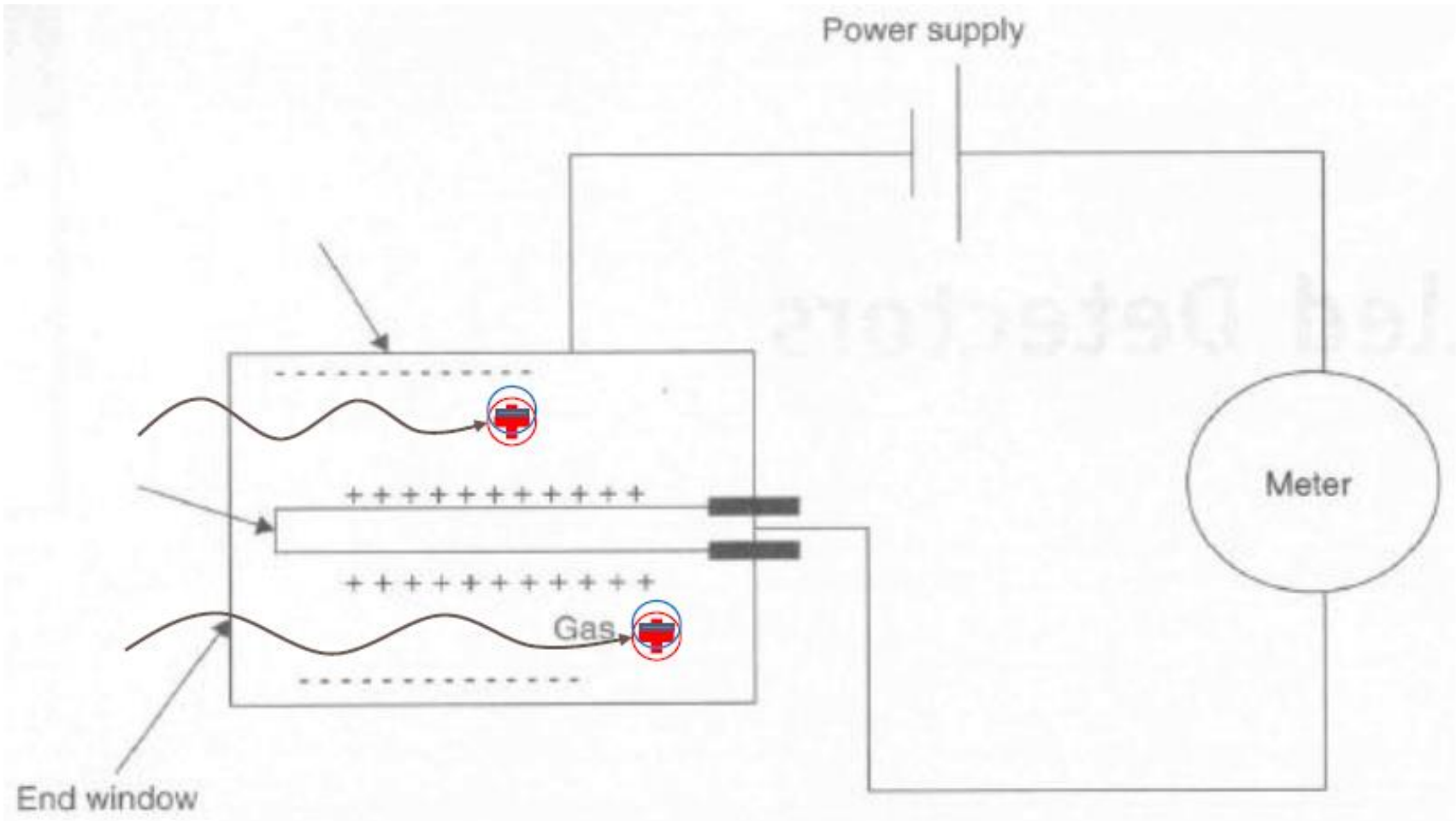


$$Q = C \cdot \Delta V$$

2. 充氣式偵檢器

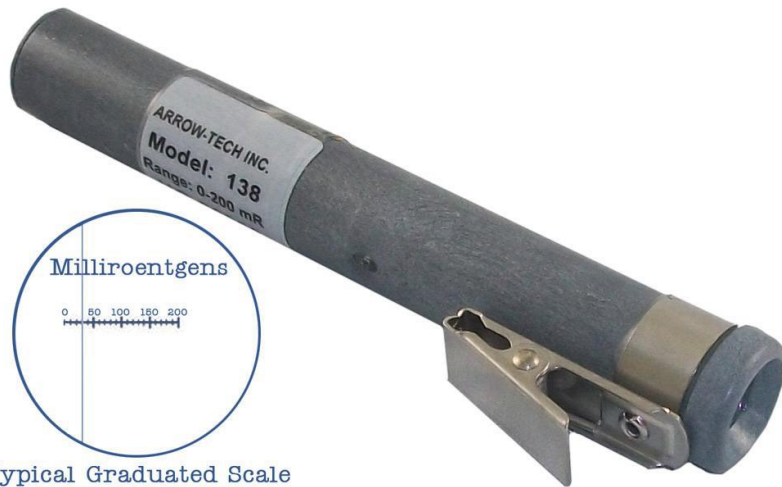
- 電池
- 電荷收集器（充氣式偵檢器）

充氣式偵檢器(gas-filled detector)



圖：充氣式偵檢器工作原理示意圖

游離腔(筆型劑量器)



Typical Graduated Scale
(Enlarged View)



蓋格偵檢器(Geiger counter)



其它蓋格偵檢器(Geiger counter)



比例計數器



實際應用—空浮收集



項 目	游離腔	比例計數器	蓋革偵檢器
偵測對象	α, β, γ, X	α, β, γ, X	α, β, γ, X
適用範圍	高劑量率	皆可	低劑量率
充氣氣體	空氣	P-10 (90%氬+10%甲烷)	氬、氫
工作高壓	50-500	250-600	400-1000
氣體增幅	無	有 (10^2-10^4)	有 (10^6-10^8)
陽極	金屬絲	不鏽鋼絲	鎢絲
抑止	不需	不需	外加電路或高電阻
輸出形式	電流式(多)脈衝式(少)	脈衝式	脈衝式
輸出訊號	0-1 mV	0-100 mV	0-10 V
電流意義	與入射劑量率成正比	—	—
脈衝意義	—	脈衝高度與粒子能量 成正比，脈衝數與粒 子數成正比	脈衝數與入射粒子 數成正比
鑑別器	不需	需要	不需
劑量靈敏度	較差	高	高
準確度	高	高	較差
能譜分析	可(脈衝式)，但很少用	可(主要用途)	否
手提偵檢器	可	可(固定式較多)	可



閃爍體偵檢器



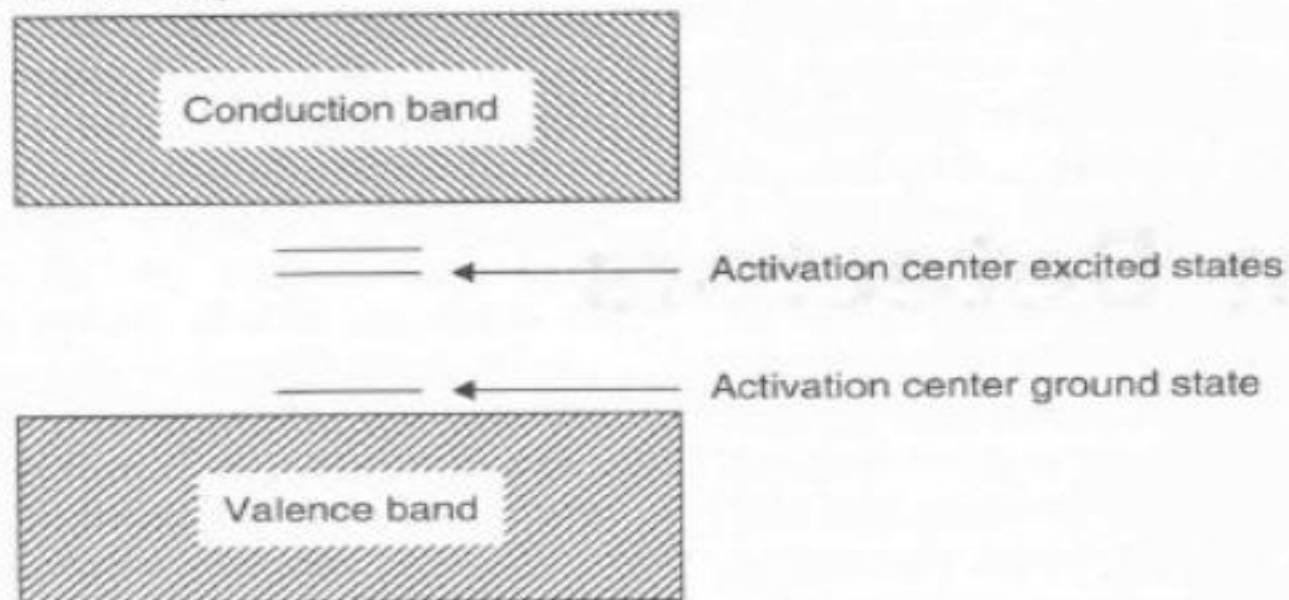
閃爍偵檢器-基本原理(1)

1. 碘化鈉（鉍）閃爍晶體（NaI(Tl)）

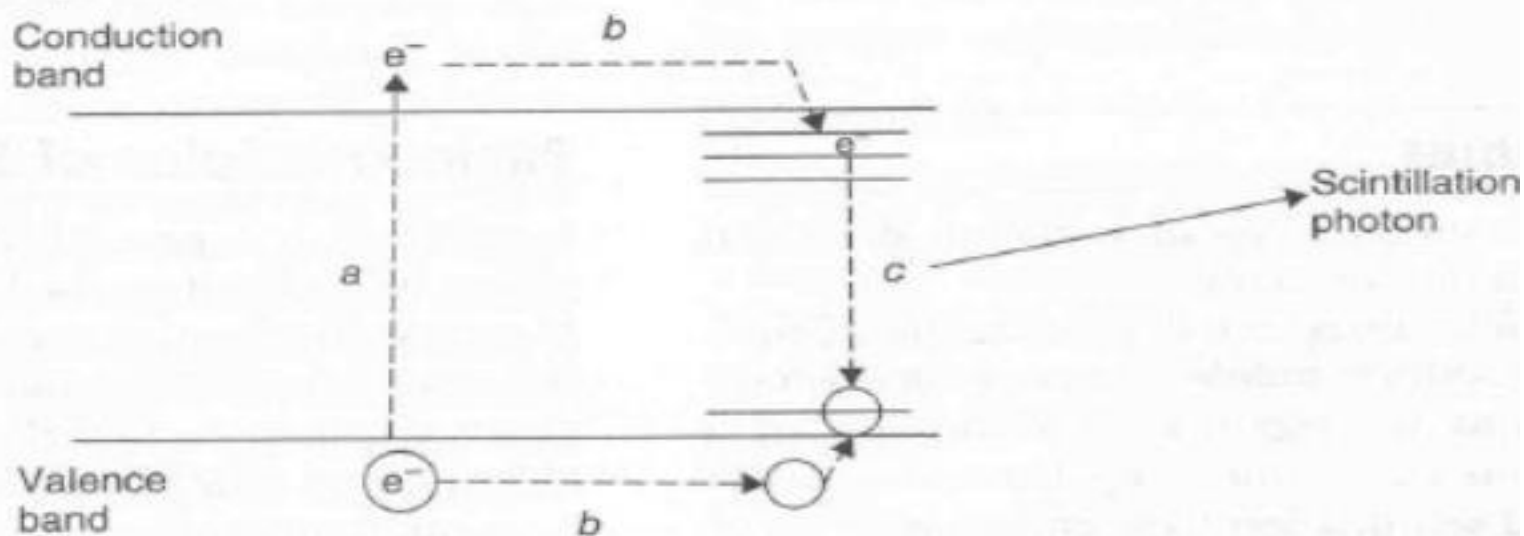
- 晶體：無機閃爍晶體（alkali halide）
- 碘化鈉（鉍）晶體：摻雜比例約在0.1~0.5%
- 活化能區：鉍不純物
- 合適偵測能區：低能加馬輻射
- 物理特性：透明狀晶體、易脆、易潮解（hygroscopic）
- 高產光率：產光範圍325 ~ 550 nm
- 消失時間（decay time）：230 ns
- 閃爍光效率：~13%
- 缺點：易潮解、低能量解析度



a) Delocalized bonding



b) Scintillation process



圖：碘化鈉（鉈）閃爍體晶體能帶示意圖

Table 8.3 Properties of Common Inorganic Scintillators

	Specific Gravity	Wavelength of Max. Emission	Refractive Index	Decay Time (μ s)	Abs. Light Yield in Photons/McV	Relative Pulse Height Using Bialk. PM tube	Reference:
Alkali Halides							
NaI(Tl)	3.67	415	1.85	0.23	38 000	1.00	
CsI(Tl)	4.51	540	1.80	0.68 (64%), 3.34 (36%)	65 000	0.49	78, 90, 91
CsI(Na)	4.51	420	1.84	0.46, 4.18	39 000	1.10	92
Li(Eu)	4.08	470	1.96	1.4	11 000	0.23	
Other Slow Inorganics							
BGO	7.13	480	2.15	0.30	8200	0.13	
CdWO ₄	7.90	470	2.3	1.1 (40%), 14.5 (60%)	15 000	0.4	98–100
ZnS(Ag) (polycrystalline)	4.09	450	2.36	0.2		1.3 ^a	
CaF ₂ (Eu)	3.19	435	1.47	0.9	24 000	0.5	
Unactivated Fast Inorganics							
BaF ₂ (fast component)	4.89	220		0.0006	1400	na	107–109
BaF ₂ (slow component)	4.89	310	1.56	0.63	9500	0.2	107–109
CsI (fast component)	4.51	305		0.002 (35%), 0.02 (65%)	2000	0.05	113–115
CsI (slow component)	4.51	450	1.80	multiple, up to several μ s	varies	varies	114, 115
CeF ₃	6.16	310, 340	1.68	0.005, 0.027	4400	0.04 to 0.05	76, 116, 117
Cerium-Activated Fast Inorganics							
GSO	6.71	440	1.85	0.056 (90%), 0.4 (10%)	9000	0.2	119–121
YAP	5.37	370	1.95	0.027	18 000	0.45	78, 125
YAG	4.56	550	1.82	0.088 (72%), 0.302 (28%)	17 000	0.5	78, 127
LSO	7.4	420	1.82	0.047	25 000	0.75	130, 131
LuAP	8.4	365	1.94	0.017	17 000	0.3	134, 136, 13
Glass Scintillators							
Ce activated Li glass ^b	2.64	400	1.59	0.05 to 0.1	3500	0.09	77, 145
Tb activated glass ^b	3.03	550	1.5	~3000 to 5000	~50 000	na	145
For comparison, a typical organic (plastic) scintillator:							
NE102A	1.03	423	1.58	0.002	10 000	0.25	

^afor alpha particles^bProperties vary with exact formulation. Also see Table 15.1.

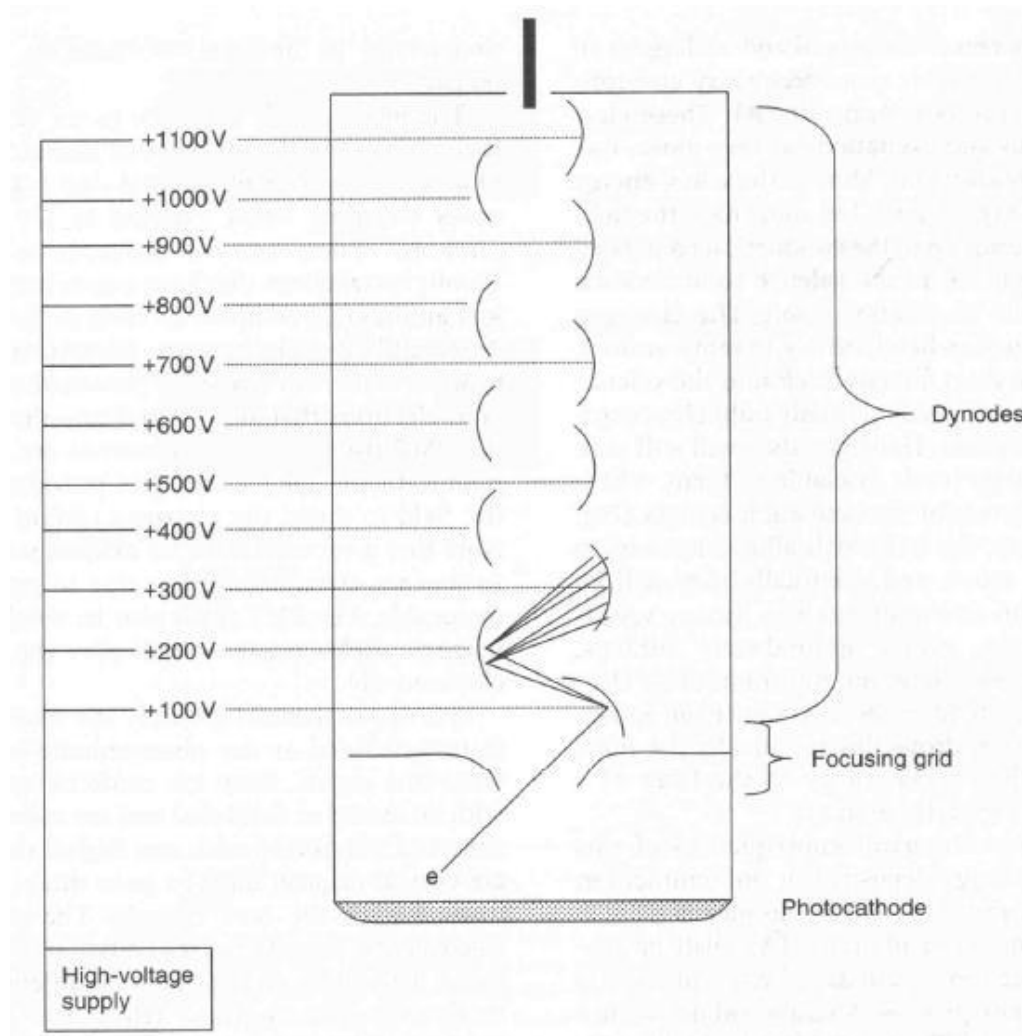
閃爍偵檢器-基本原理(2)

- ▶ 光電倍增管（**Photomultiplier tube; PMT**）
 - ▶ 光陰極（**photocathode**）
 - ▶ 光陰極材料： K_2CsSb 、 Na_2KSb ；鹼金屬化合物、鈉-鉀-銻-銫）
 - ▶ 聚焦柵（**focusing grid**）
 - ▶ 代鈉倍極（**dynodes**）：通常一個PMT含9~12個代鈉倍極
 - ▶ 高壓系統：供應PMT工作使用

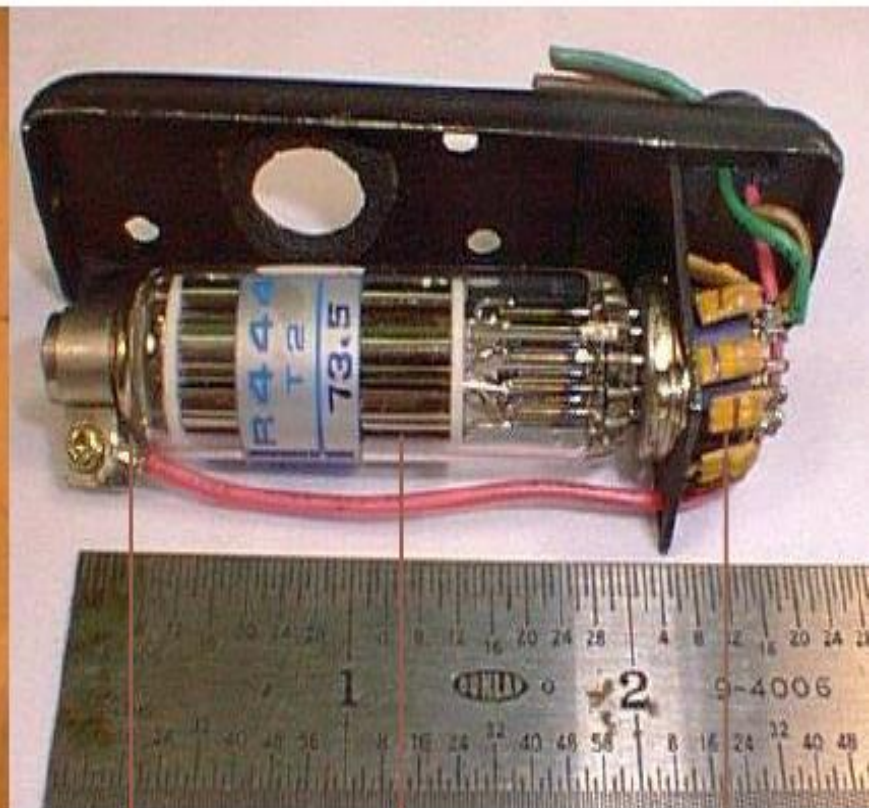
註：閃爍偵檢器系統裡的「高壓」非常重要，如果高壓有1%變化的話，將導致輸出脈衝大小10%的變化。



光電倍增管(photomultiplier tube; PMT)



光電倍增管 (PMT)



閃爍晶體

光電倍增管

信號輸出

□ 自動加馬計數儀(auto gamma counter)



圖：井型式的閃爍計數儀「自動加馬計數儀」系統

□ 貝他閃爍計數儀(beta counter)

- ▶ 液態閃爍計數儀(Beta-counter)，其檢體測試形式可為液體（有機溶劑閃爍介質）或固體（固態閃爍介質）檢體。
- ▶ 原理是利用閃爍介質吸收了放射性能量後會發射低能光子。再收集光子數量，而對檢體中特定物質作定量分析。



其他輻射防護器材



輻射防護器材





鉛眼鏡

0.5mm 鉛當量



鉛衣架



鉛屏風



性腺防護



鉛圍裙



生殖腺防護

生殖器官的理想保護選擇

各種尺寸兼適用

易穿脫設計

1.0mm 鉛當量

鉛手套

超彈性手套設計提供您舒適的手感

無縫表面可完全阻擋輻射

好穿易脫不卡手

偵測器輻射度量操作



輻射偵檢器

- ▶ 比較游離腔蓋革管與閃爍體偵測器特性：



輻射偵檢器選擇重點

▶ 準確度：

- ▶ 指儀器的讀數與真正的劑量率之比值（校正因子＝劑量率/讀數）真正的劑量率由標準射源計算或由標準游離腔標定射源於某距離之劑量率，儀器讀數與真正劑量率越接近越佳。

▶ 再現性：

- ▶ 儀器對固定的輻射強度在相同的條件下，讀數之比較，讀數越接近越好



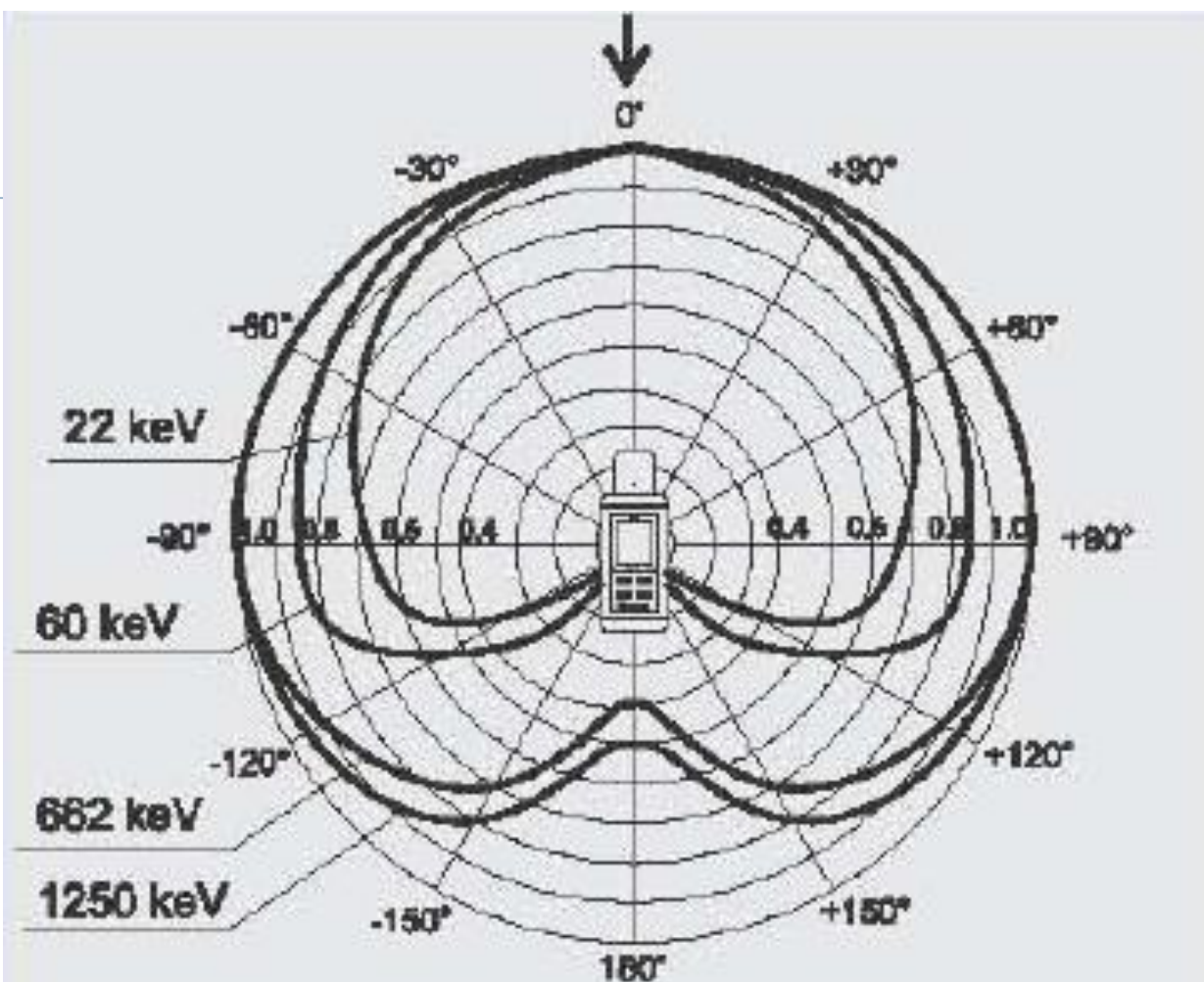
▶ 角度依存性：

- ▶ 偵檢器幾何形狀不同（非圓形），在不同角度上亦會產生儀器讀值之差異，因此，在偵測時須注意儀器度量位置，尤其有開窗偵檢器，如窗不能正對輻射源方向，讀數會明顯偏低。一般輻射儀器的角度依存性 $0^{\circ}-45^{\circ}$ 最好在 $\pm 20\%$ 內。

▶ 對非偵測輻射的反應：

- ▶ 有些偵檢器度量只針對某一種輻射，因此，對於不想度量的輻射最好沒有反應如偵測X or γ - ray最好對中子沒有反應，測中子的最好對光子不要有反應





**Normal dosimeter anisotropy
for horizontal plane**

實作：輻射度量步驟

依偵檢器操作手冊，開機後待穩定後再進行測量。

- ▶ 1. 執行偵測前應先檢查儀器功能是否完善、充電是否正常，校正日期是否合於規定。
 - ▶ 2. 檢查時偵檢器應盡可能接近材料表面，並以掃描方式全面偵測為佳。
 - ▶ 3. 偵測時在每個測量點停留時間，需依所使用儀器之反應時間而定，蓋格偵檢器10秒以上，碘化鈉偵檢器3秒以上。
 - ▶ 4. 完成一個材料量測後將平均值記錄於紀錄表內。
-

實作：注意事項

- ▶ 若測量時儀器顯示劑量偏高，則需停留在該點，觀察劑量變化情形，並以平均值為依據，判斷結果及處理方式。
- ▶ 行李X光機法規規定值為表面5cm處應小於 $5\ \mu\text{Sv/h}$ ，但管制區外應小於 $0.5\ \mu\text{Sv/h}$ ，若X光機外即為管制區外，如可能造成人員輻射劑量，必要時應適時拉大管制區範圍。

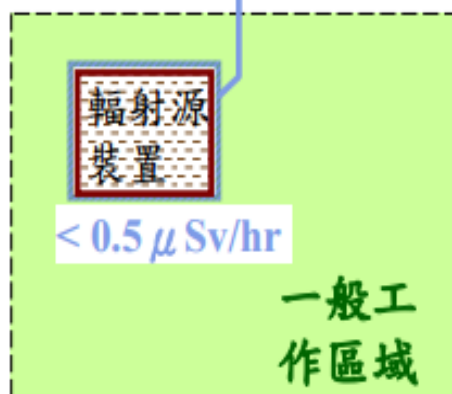


案例1

輻射工作場所

管制區

輻射工作場所
(管制區)

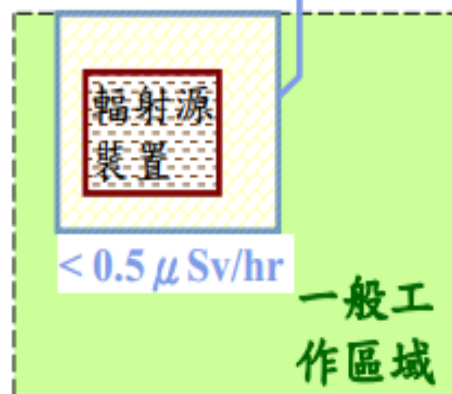


部份登記類裝置，如
ECD、XRF(不涉及維
修、拆移輻射源)

案例2

輻射工作場所

管制區 (圍籬、房間)

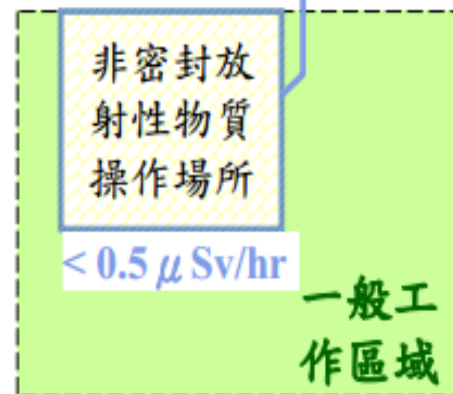


動物X光機、照射器...等

案例3

輻射工作場所

管制區 (圍籬、房間)



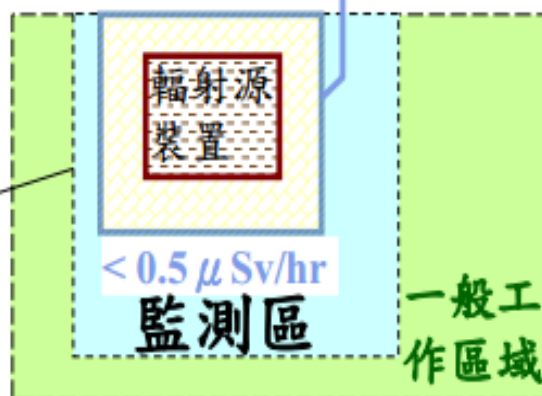
放射性同位素實驗室

案例4

輻射工作場所
(管制區
+
監測區)

輻射工
作場所

管制區(大區域)



問題與討論：

- ▶ 游離腔蓋革管與閃爍體偵測器偵測結果？
- ▶ 距離遠近對讀值影響？
- ▶ 屏蔽厚度對讀值影響？
- ▶ (+)測量不同角度對讀值影響？
- ▶ 其它



各式輻射偵測儀器/設備

RPM Raiation Protal Monitor



ATOMTEX

AT1121/ AT1123/AT1107

- 在廣泛的劑量率和能量範圍內進行測量
- 短期暴露期間（從 **0.03 秒**起）劑量率和暴露時間的測量
- 自動將超過 50 萬個測量結果記錄到非揮發性記憶體中
- 可以選擇四種可用平均模式之一。
- 遠端測量可作為選配件提供。
- 可選固定式安裝，帶外部聲光警報器和用於執行器控制的被動觸點
- 用於連續監控和數據記錄的PC通訊接口



FLUKE

451P

- 高靈敏度 μSv 測量：可同時測量劑量率（Dose Rate）與累積劑量（Dose），並可記錄峰值劑量率（Peak Rate）。
- 自動量程與自動歸零：具備 Auto-ranging 及 Auto-zeroing 功能，操作更便利。
- RS-232 通訊介面：可選配 Windows 系統的 Excel 外掛程式，進行量測資料記錄與管理。
- 人體工學防疲勞握把：配備可更換式握把、腕帶及三腳架安裝孔，適合長時間操作。
- 可程式設定的閃爍式 LCD 顯示幕：可透過閃爍顯示提供清楚的警示與讀值資訊。
- 方便更換電池：底部外側設有容易開啟的電池蓋，使用 2 顆 9V 鹼性電池供電。



EPD



QA KIT/TOOLS



1. POSITION THE RAYSafe DXR+



Position the  symbol within the light field. Align the yellow center line with the light field edge.

2. EXPOSE AND READ



Expose and read any X-ray/light field deviation in the display.

QA meter

- kV
- mA
- Exposure time
- filter

