

台灣康寧顯示玻璃股份有限公司
輻射工作人員在職輻射安全訓練

X光機原理 輻射安全與檢測

日期 :2020/12/17

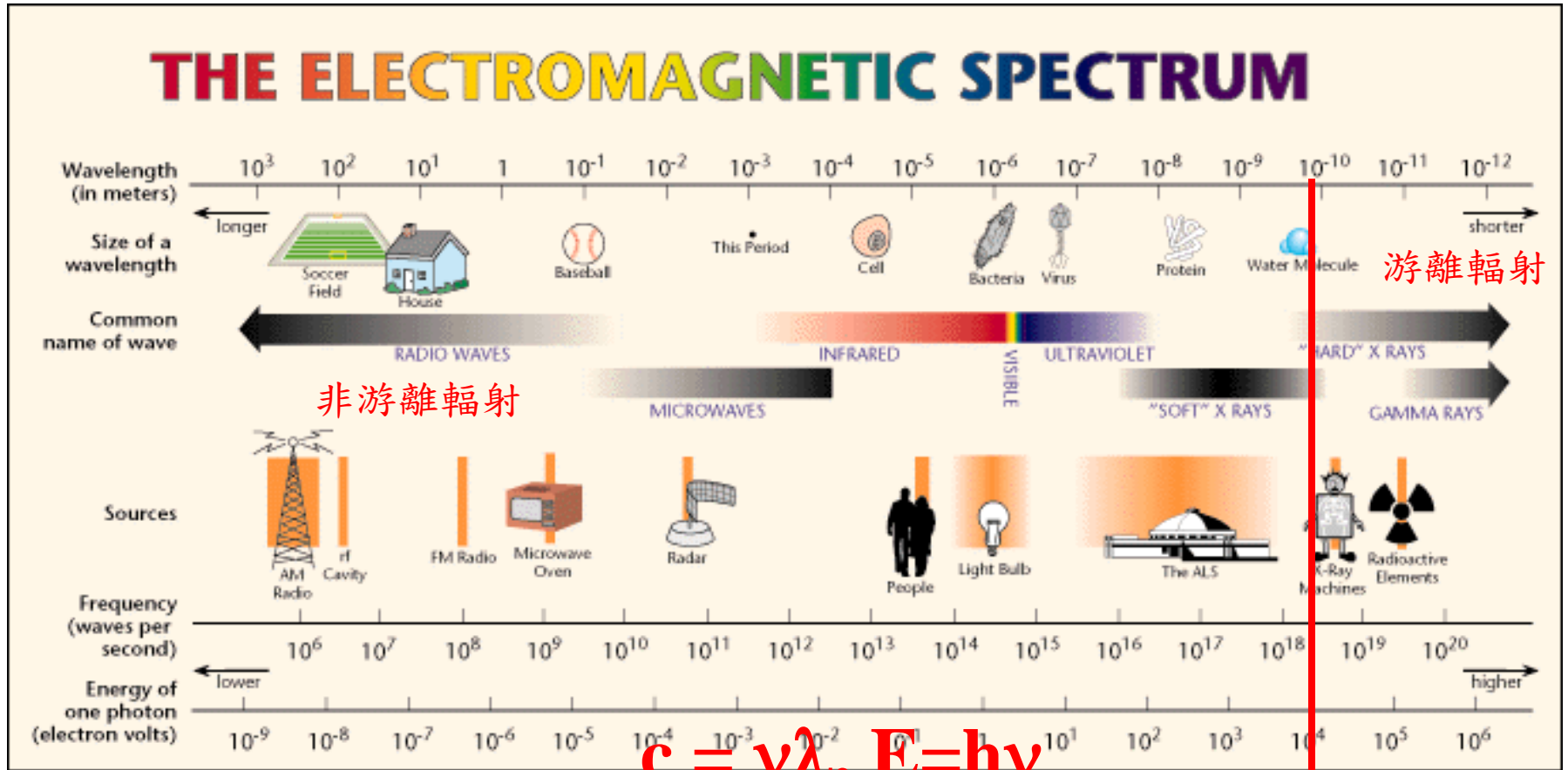
授課講員：陳厚語

輻射防護師輻專師字第0824號

目錄

- 1. 電磁游離輻射與物質作用機制
- 2. X光機簡介與應用
- 3. X光機輻射安全與屏蔽規劃
- 4. 法規對X光機操作安全之規定

1. 電磁游離輻射與物質作用機制



wavelength from 10^7 (radio waves) to 10^{-13} m (ultrahigh energy x-rays)
 Visual light : 4×10^{-7} m (blue light) ~ 7×10^{-7} m (red light)

光子與物質作用的機制

- 光電效應(pe), τ
- 康普吞效應(ce), σ
- 成對產生效應(pp), κ

光電效應

Z : 原子序

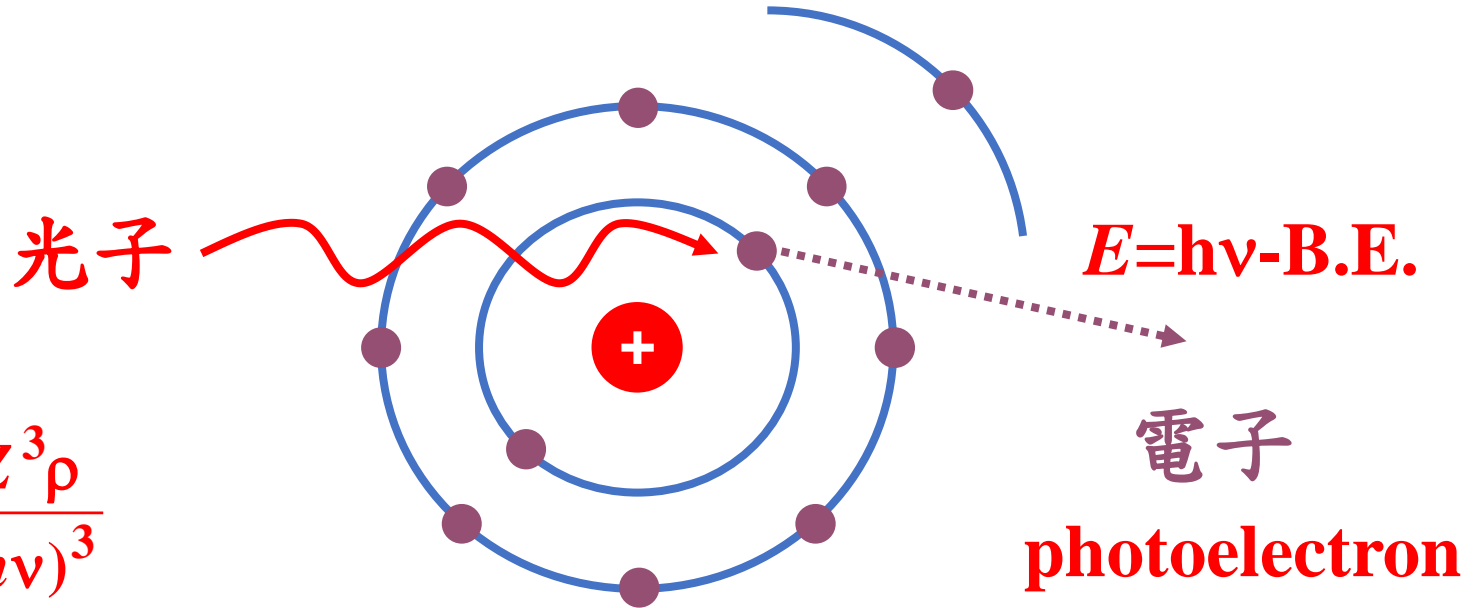
ρ : 密度

$$\mu_{pe} = \tau \propto \frac{Z^3 \rho}{(h\nu)^3}$$

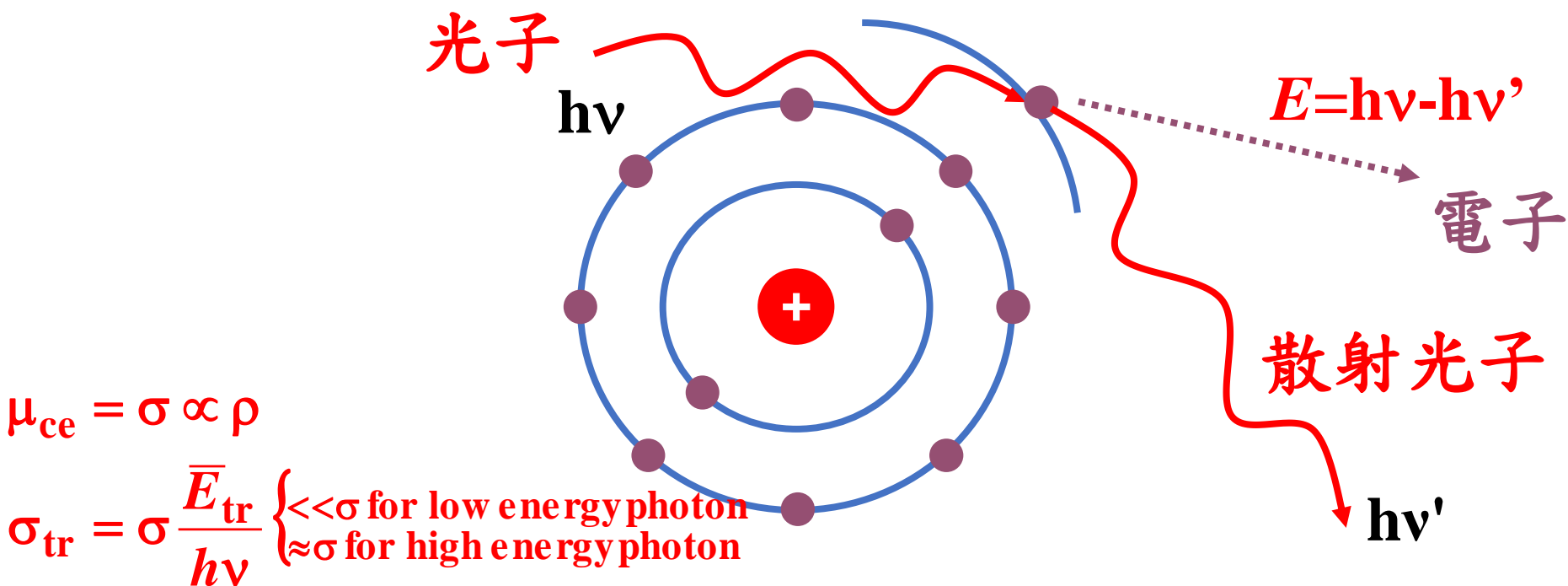
$$\therefore \bar{E}_{tr} = \bar{E}_{ab} \approx h\nu \text{ (for low } Z \text{ material)}$$

$$\therefore \tau \approx \tau_{tr} \approx \tau_{ab}$$

經過光電效應後，光子能量完全轉移給電子，光子消失了，故達到完全之屏蔽效果

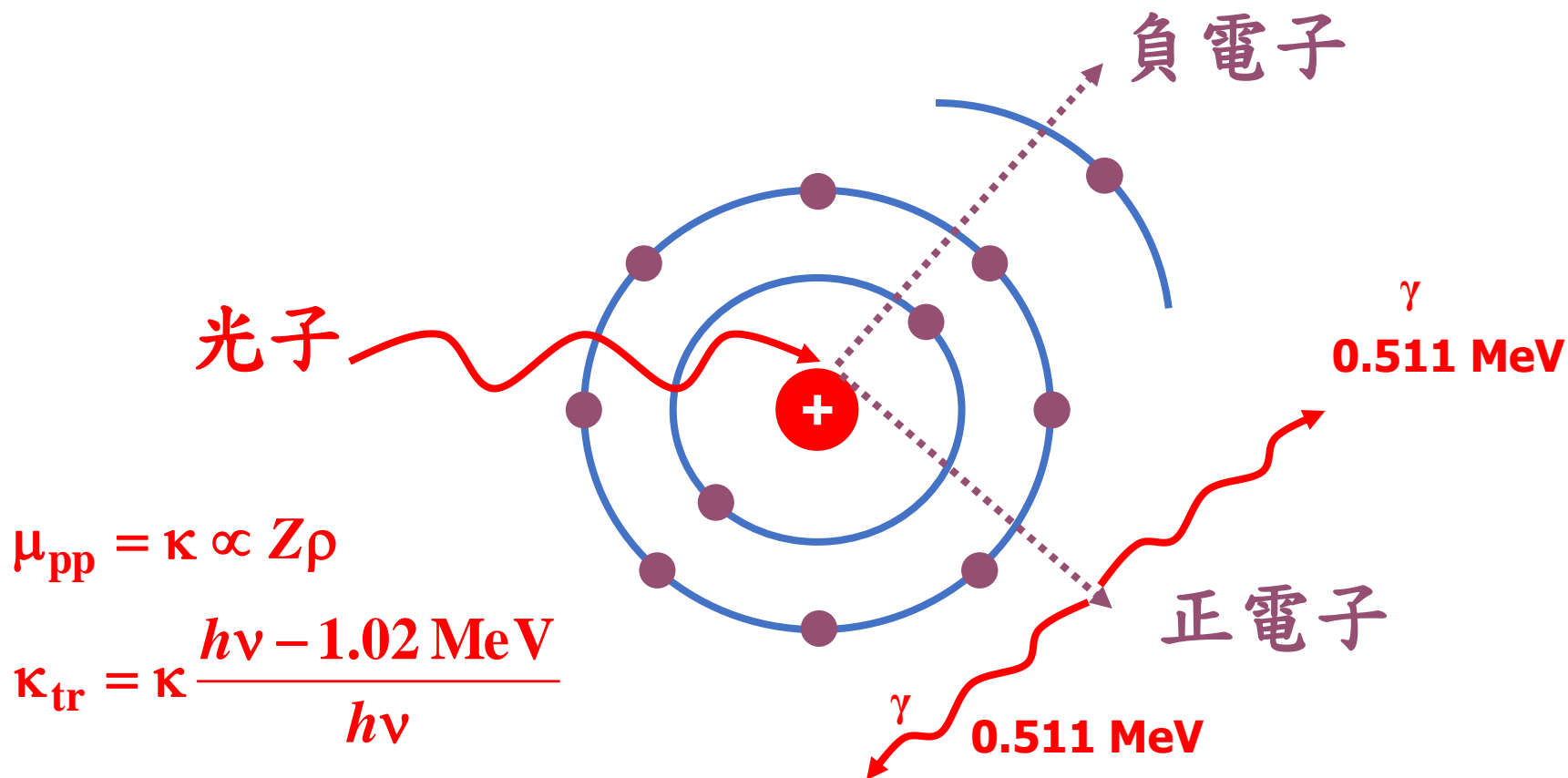


康普吞效應



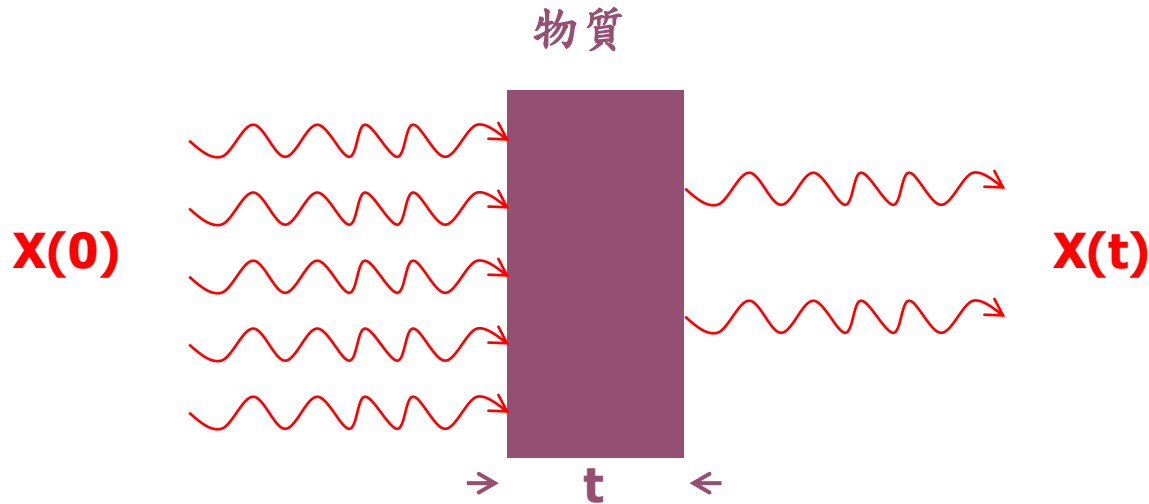
經過康普吞效應後，光子被散射(能量變小、方向改變)，故僅達部分之屏蔽效果

成對產生效應



經過成對產生後，光子能量大部分轉移給電子，剩下兩個能量為0.51 MeV的 γ 光子。

光子在物質中的衰減(強度減弱)

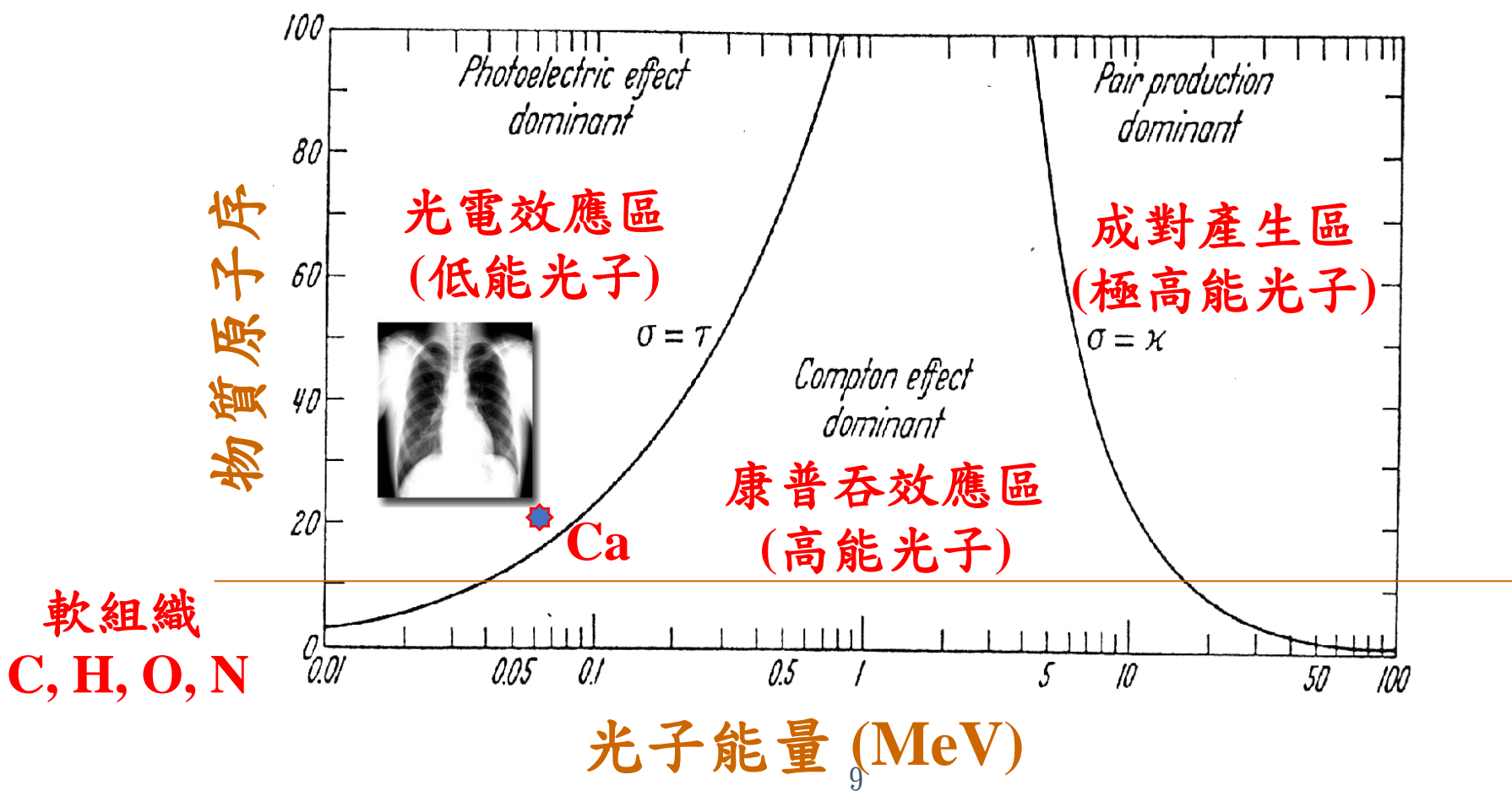


窄射柱： $X(t) = X(0)e^{-\mu t}$, $\mu = \mu_{pe} + \mu_{ce} + \mu_{pp}$

$$\mu_{pe} \propto \frac{Z^3 \rho}{(h\nu)^3}, \mu_{ce} \propto \rho, \mu_{pp} \propto Z\rho$$

寬射柱： $X(t) = B \cdot X(0)e^{-\mu t}$ (B為增建因數)

不同光子與物質作用的相對重要性

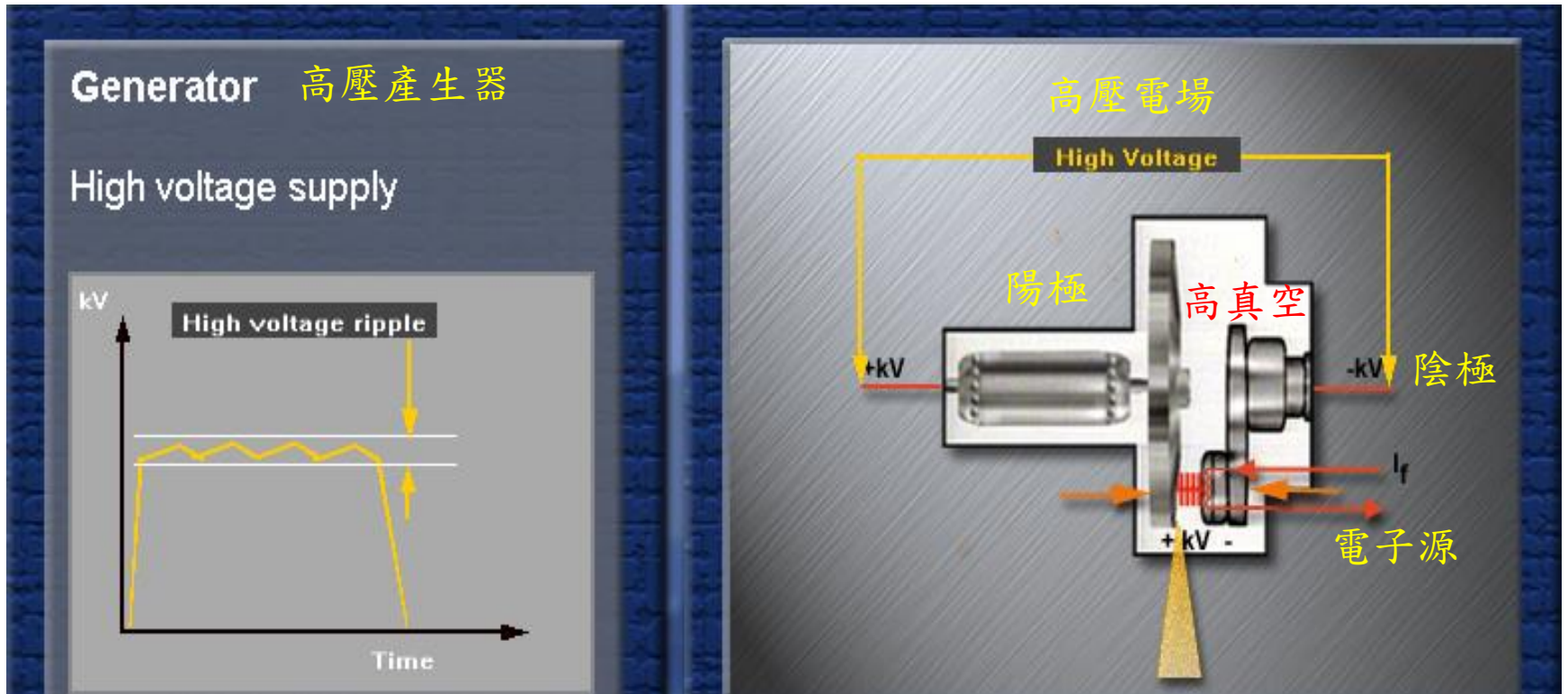


2. X光機簡介與應用



3D 數位影像重建

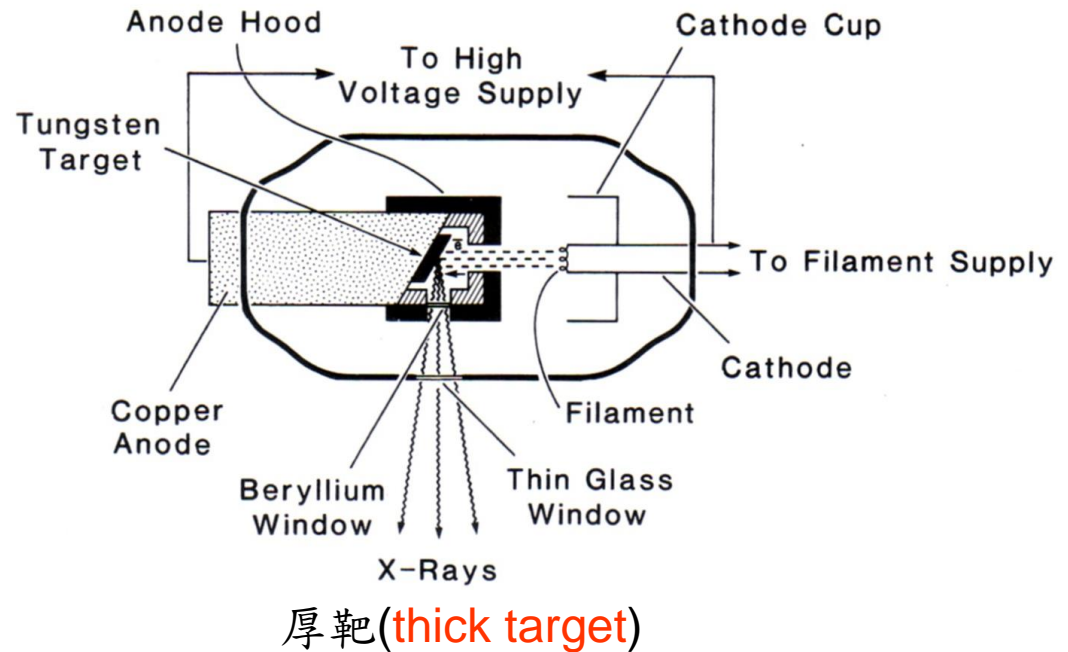
X光機-高壓產生器及管球



整流濾波

旋轉陽極X光射線管結構示意圖

X光管(X-ray Tube)示意圖



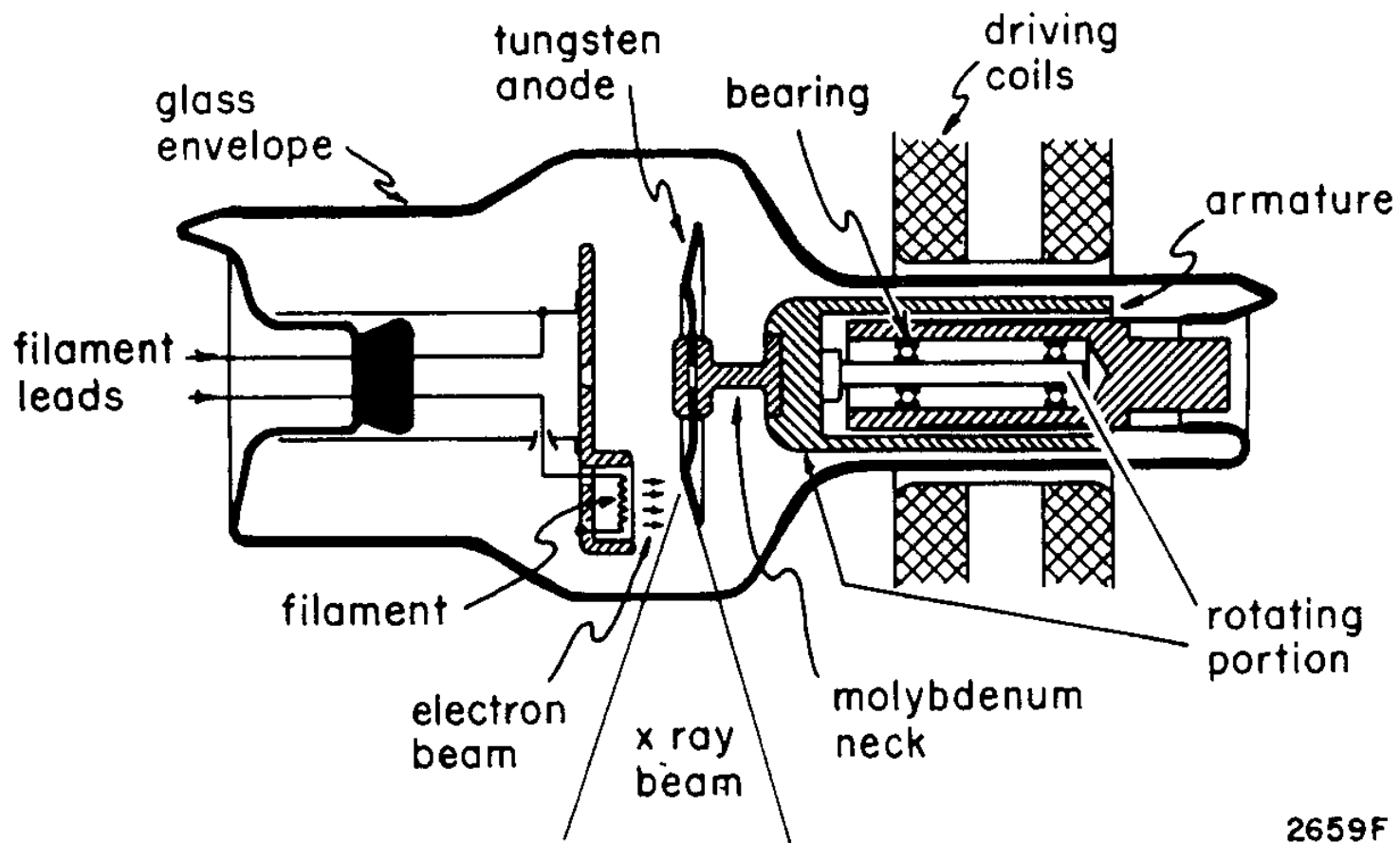
鎢作為靶材料的原因：

鎢原子序數較高，產生X射線的效率高和產生高能X射線；

鎢為能夠有效散熱的金屬；

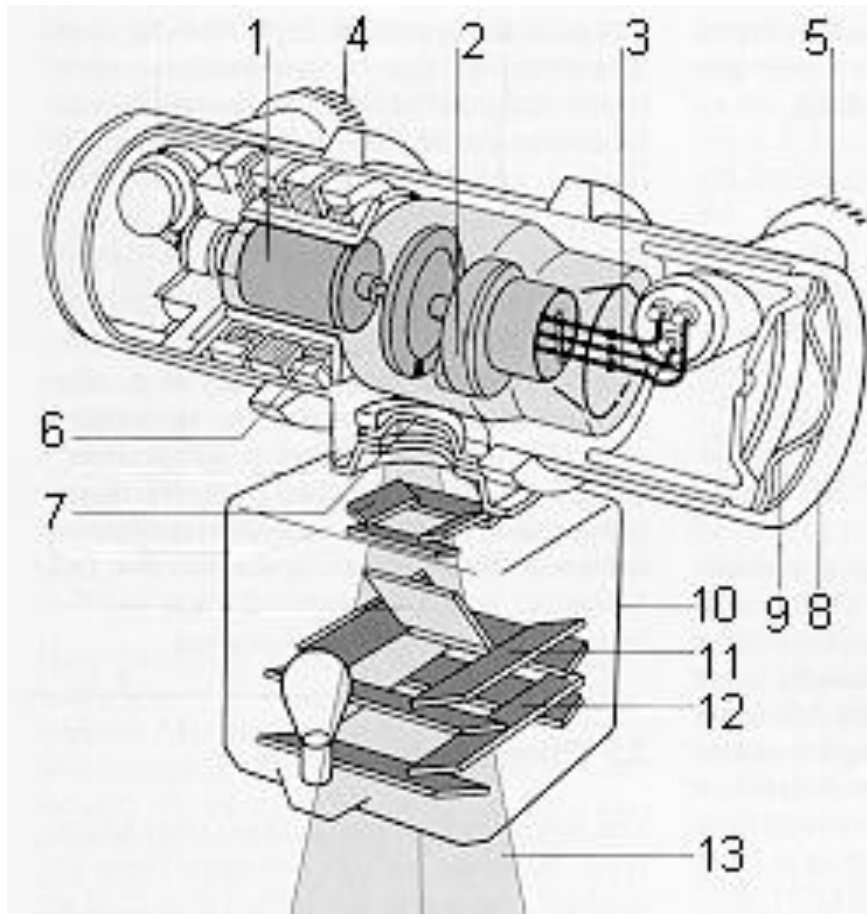
鎢具有很高的熔點 3410°C

X光管示意圖-旋轉陽極靶



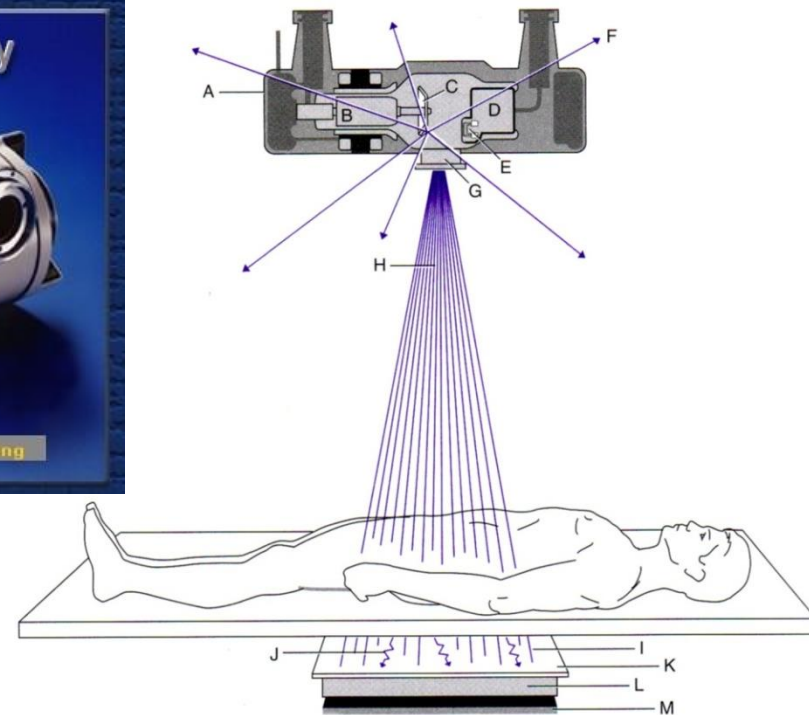
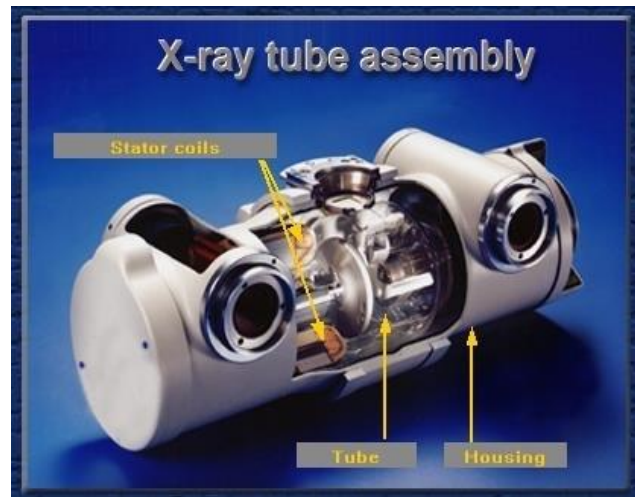
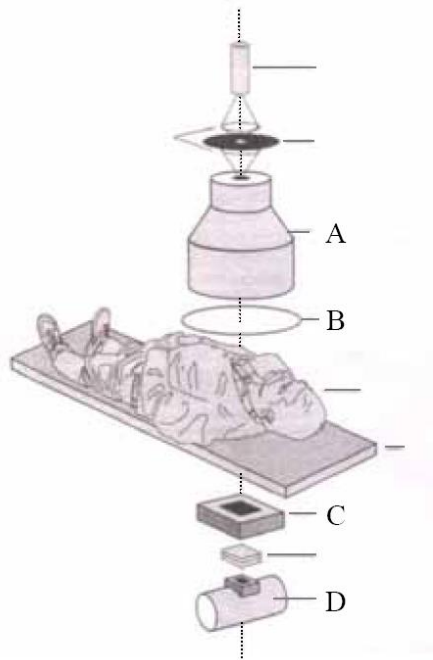
2659F

X-Ray Tube Housing & Collimator



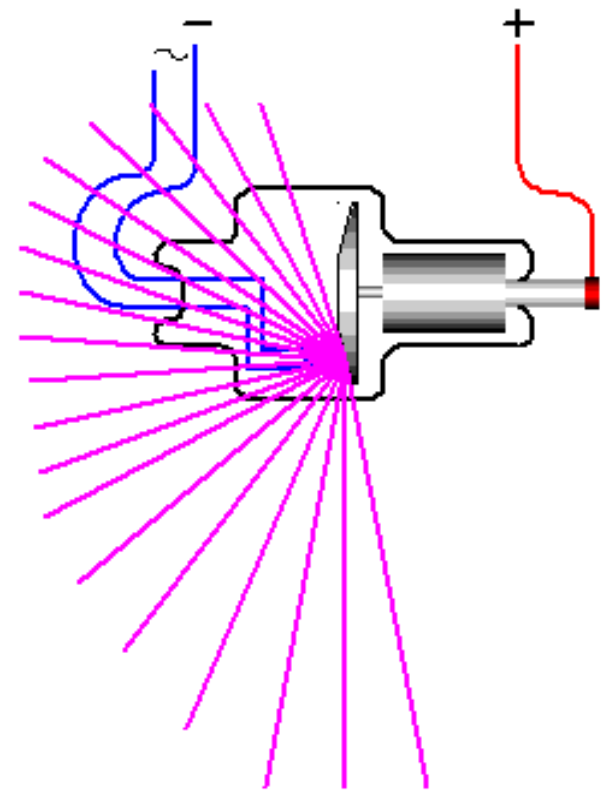
- 1 Rotor with anode disc
- 2 Cathode
- 3 Filament supply leads
- 4 High tension outlet anode side
- 5 High tension outlet cathode side
- 6 Stator winding
- 7 Radiation window
- 8 Protective casing of the tube assembly
- 9 Expansion bellows
- 10 X-ray beam collimator
- 11+12 Lead plates to limit the radiation field
- 13 Useful x-ray beam

X光機-醫療用



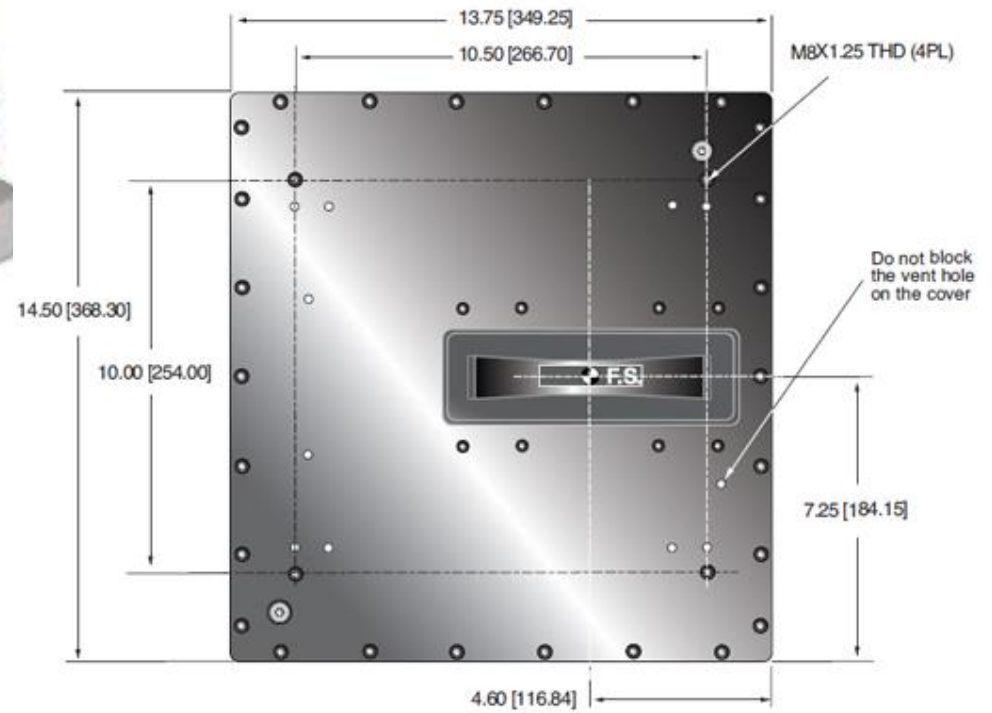
A/B/C/D分別為：影像增強器／光柵／準直儀／X光管

X-Ray Tube



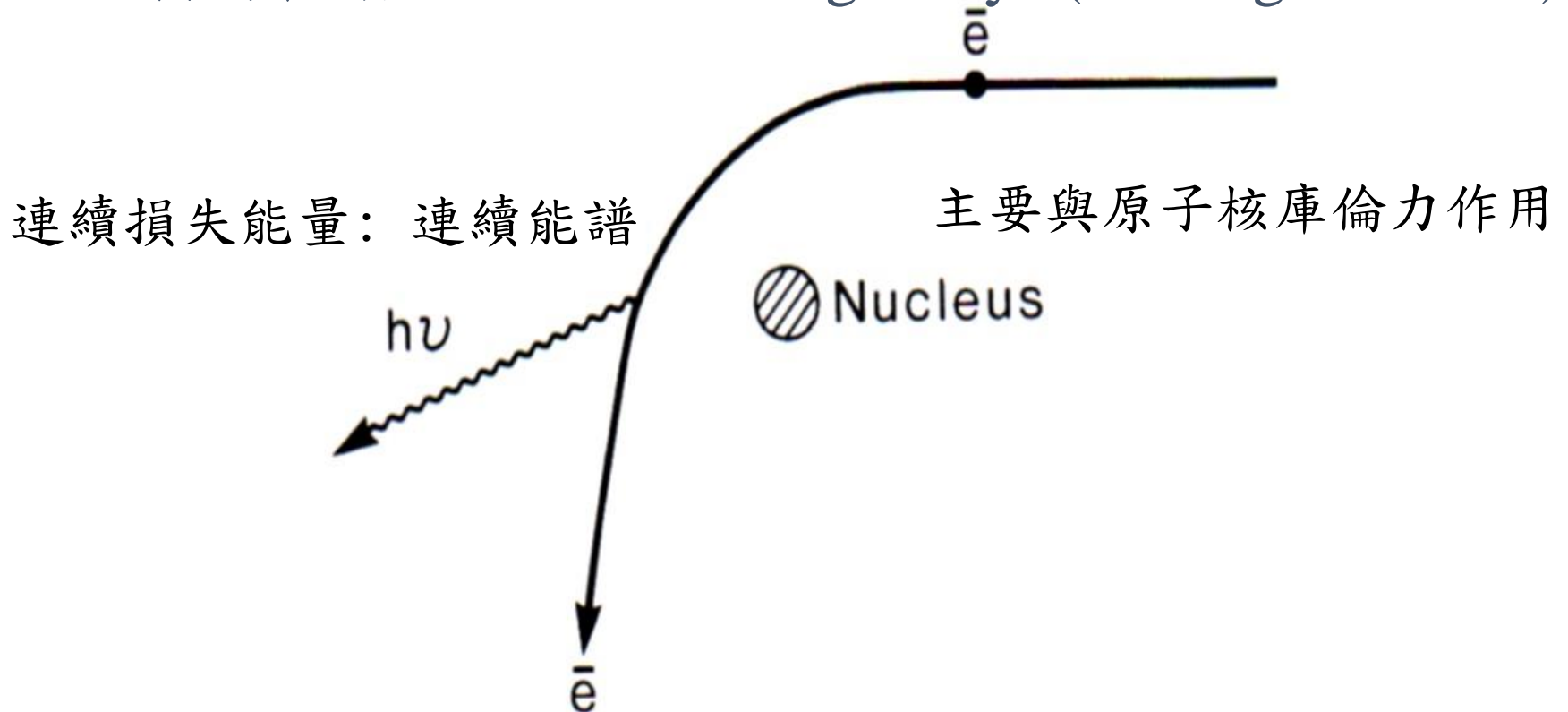
- 上圖是我們現在所用的X光管，它必定有一個陰極（cathode）用來產生電子，又利用高壓電場的作用，使電子加速，讓電子能以很高的能量向「靶」（target）撞去，受到靶阻擋而減速時，放出能量，於是產生了X光。這種X光，由是制止電子運動而產生的，所以稱做**制動輻射**（bremsstrahlung），如圖所示。
- 其中99%之動能轉換成熱能，只有**1%**產生X光。

X-ray Monoblock

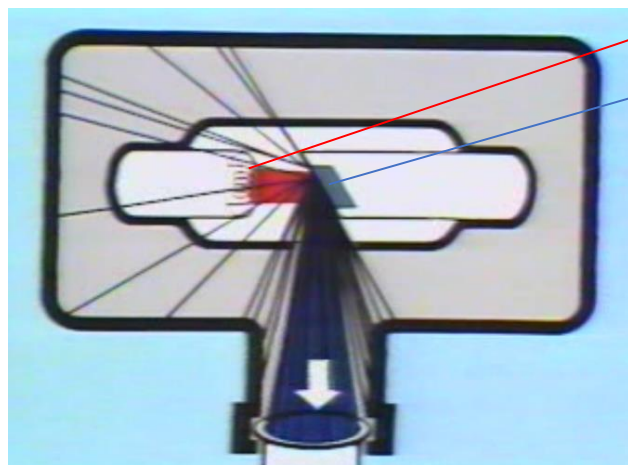


x-ray 產生機制

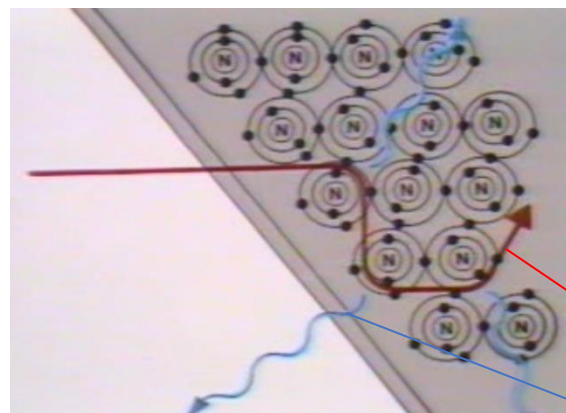
1. 制動輻射 Bremsstrahlung x-rays (braking radiation)



X-ray (bremsstrahlung 制動輻射)



陰極(cathode)
陽極(anode)



游離、激發(ionization, excitation)
制動輻射(bremsstrahlung)

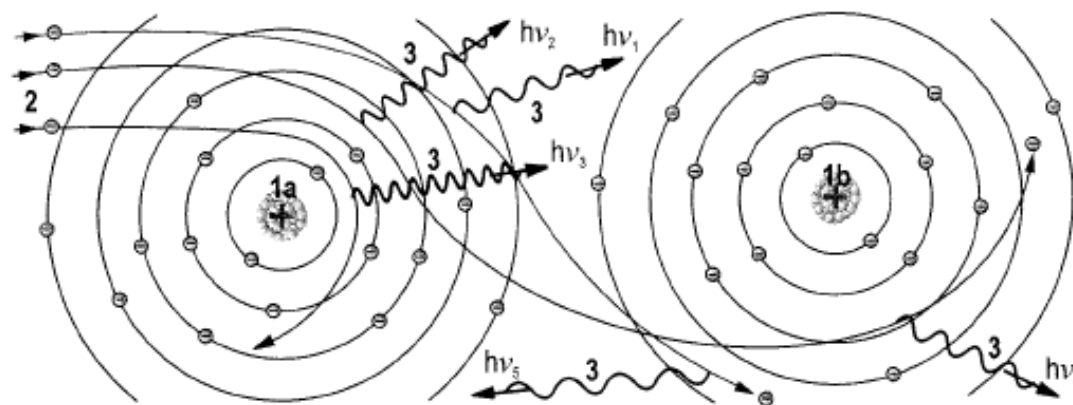


Figure 2.5 Principle of formation of X-ray bremsstrahlung through deceleration in the electrical field of the anode atoms (interaction with the nucleus of the atom)

制動輻射

- 根據電磁學的理論，假如帶電的粒子，因加速度的改變而使它的能量變小時，這多餘的能量，就會以電磁波的形式發射出來。倫琴利用克魯克放電管（Crookes tube）發現的X光，就是從放電管放出來陰極射線（現在知道是高速的電子流）衝擊到管壁以後，因速度變小能量變低而放出來的輻射。
- X射線和 γ 射線具有完全相同的性質。最初我們是以能量高低來加以區分；稱能量高的為 γ 射線，能量低的為X射線。現在我們則以射線來源作為區分標準，也就是所有來自原子核內的電磁波型游離輻射，稱為 γ 射線；所有來自原子核以外的電磁波型游離輻射，稱為X射線。

制動輻射產率

- Efficiency is defined as the ratio of output energy emitted as x-rays to the input energy deposited by electrons.

$$\text{Efficiency} = 9 \times 10^{-10} ZV$$

Z: atomic number of target (靶材原子序)

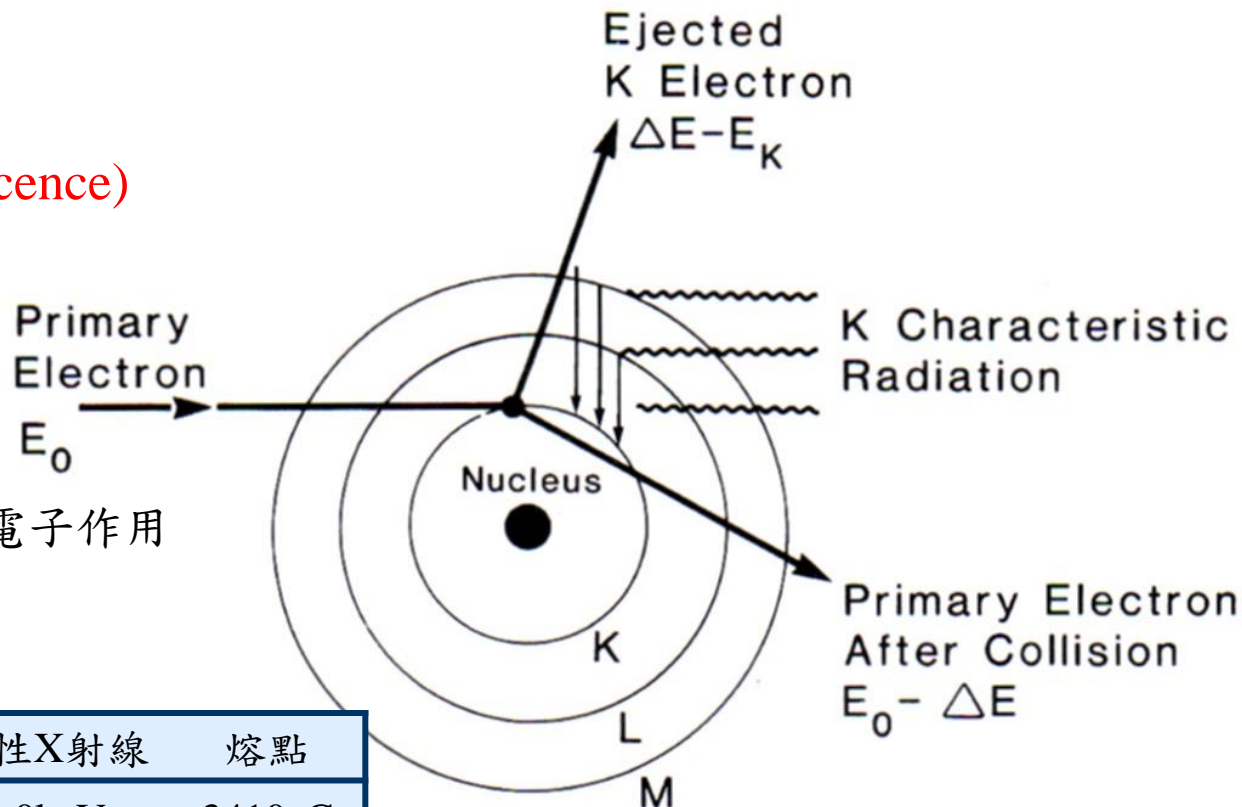
V: tube voltage(管電壓)

x-ray 產生機制

• 2. 特性Character

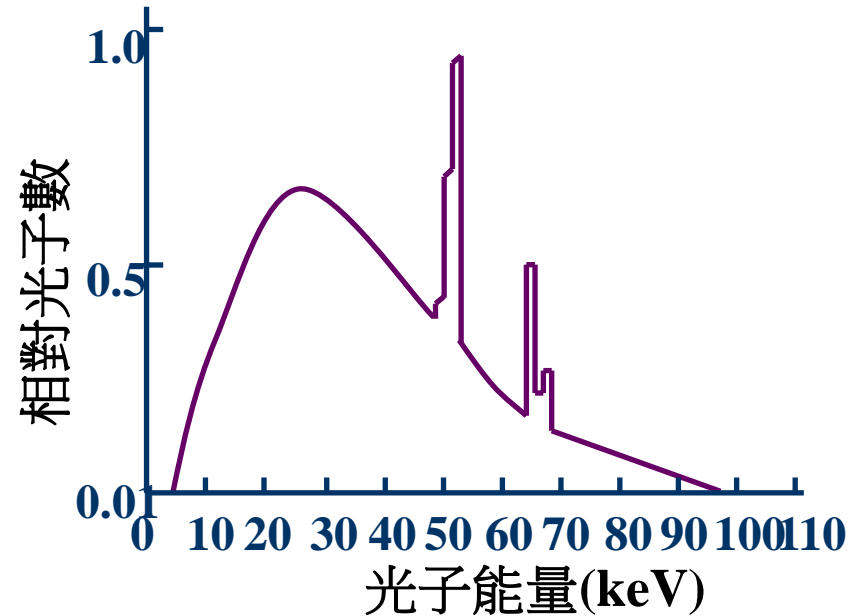
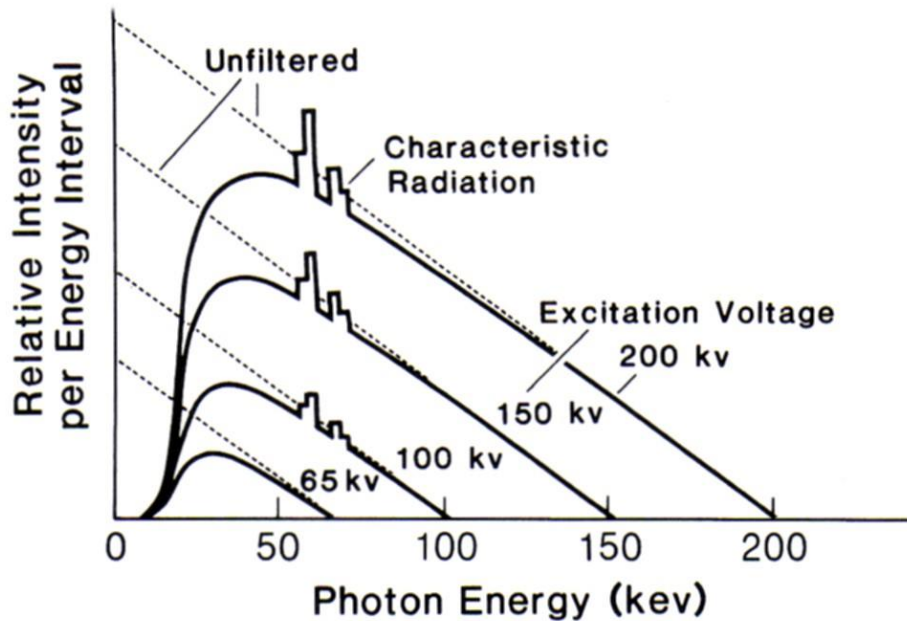
螢光輻射(Fluorescence)

主要與原子核外電子作用



元素	元素符號	原子序數	K特性X射線	熔點
鎢	W	74	59.0keV	3410°C
鉬	Mo	42	17.4keV	2600°C
銠	Rh	45	19.7keV	3200°C

X-ray 能譜

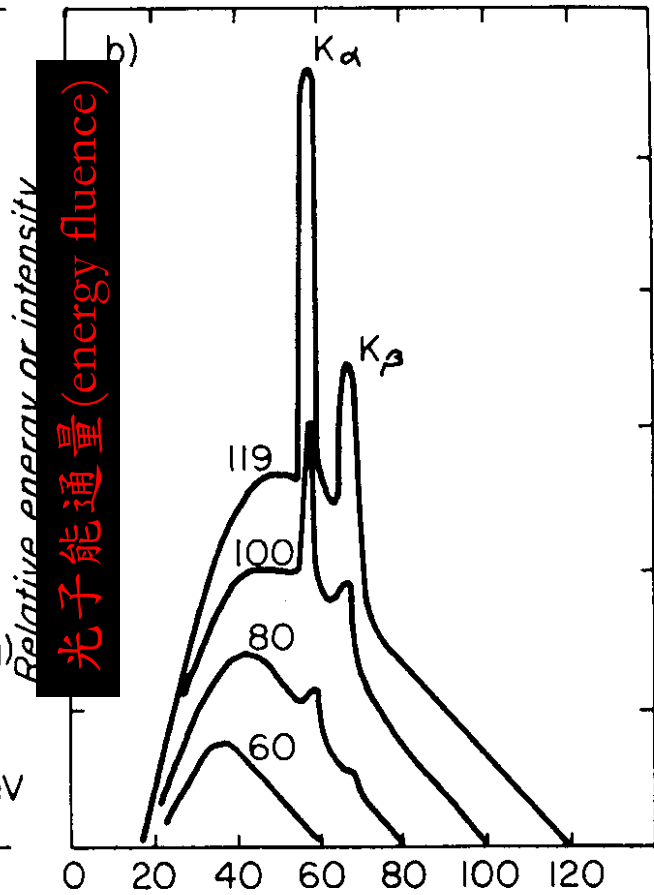
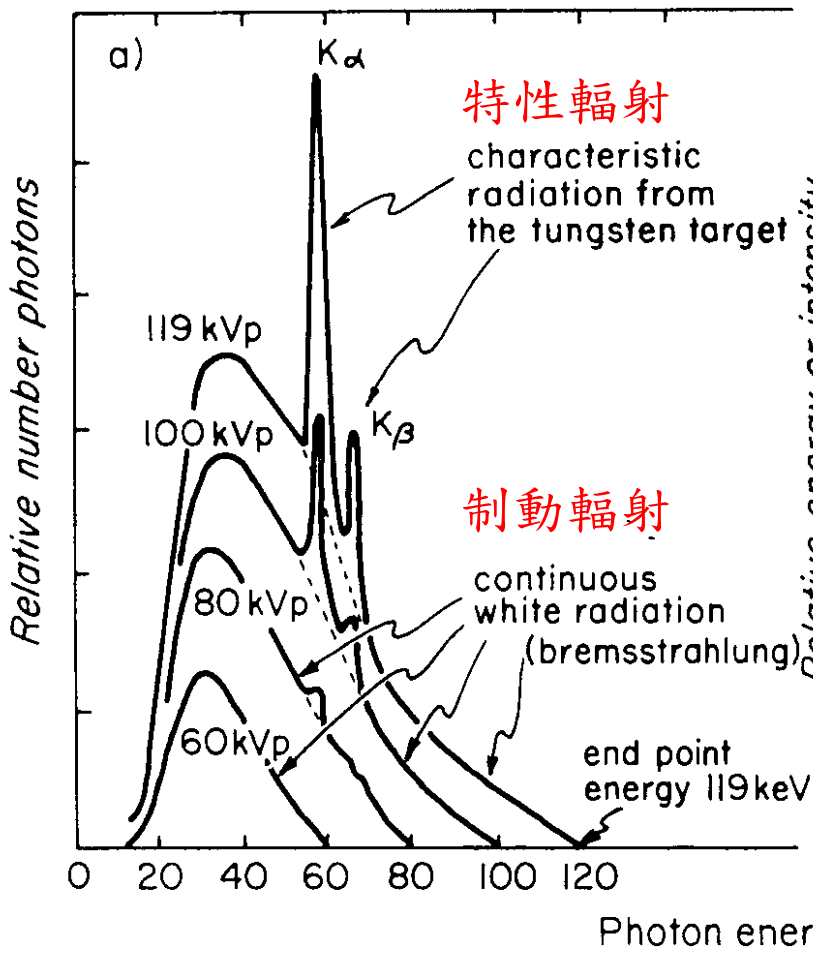


考題: X光機所產生特性輻射之光子能量與何者有關?

- (A)陰極燈絲的材質
- (B)陽極靶的材質
- (C)陰陽極間的電流量
- (D)X光機的電壓

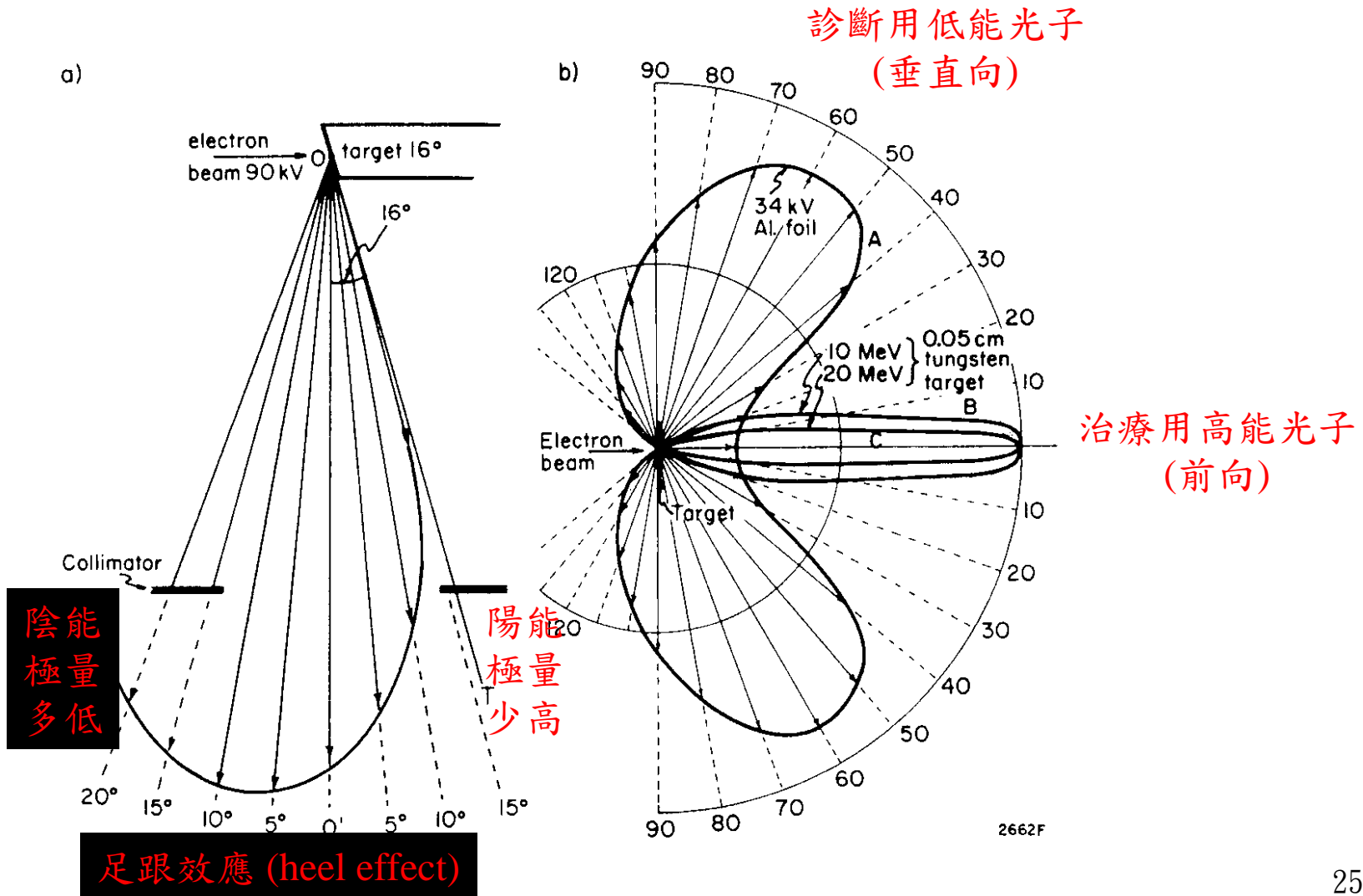
X光能譜

光子通量 (particle fluence)



光子能通量 (energy fluence)

X光的角度分布



X射線之射質

半值層：讓射束強度減少至原來一半所需的厚度。

$$N = N_0 e^{-\mu x}$$

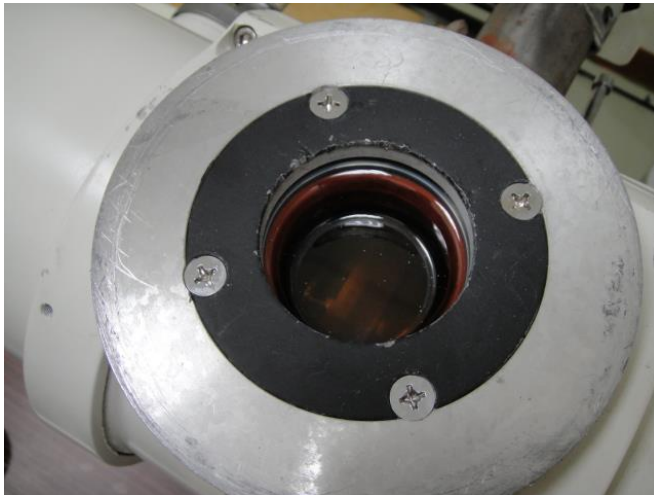
$$\text{HVL} = x = \frac{0.693}{\mu}$$

X-ray能量：

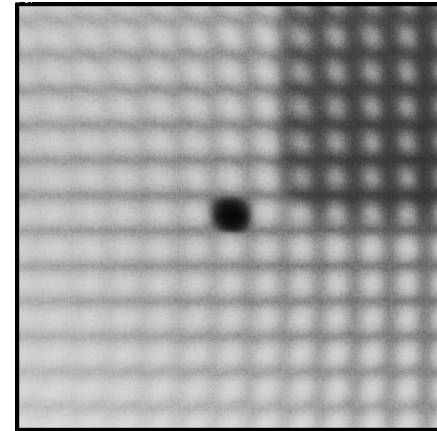
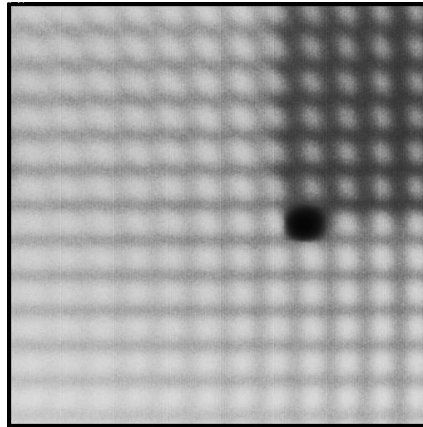
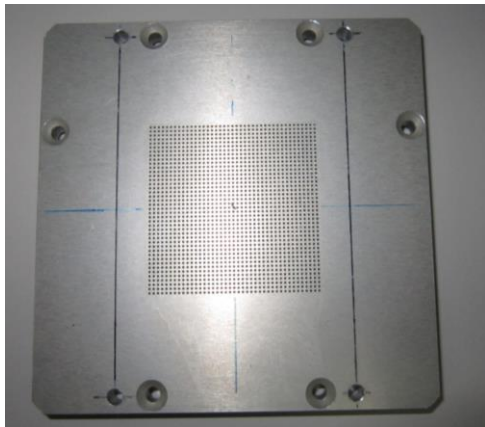
- 半值層通常以幾毫米鋁厚度表示之。
- 能量愈高，所需之HVL之厚度增加，所用之材質原子序亦增加。

濾片與半值層

- 濾片 (filter) 的功能：
 - 減少低能的X光 (減少病患的體表劑量)
 - 彌補人體組織厚度的差異



X-Ray Tube Windows



- X光管球中心點未必與開窗 (window) 一致。
- 實際使用時必須找出X光射束中心點。

X光機:可發生游離輻射設備



牙科型X光機



診斷型X光機

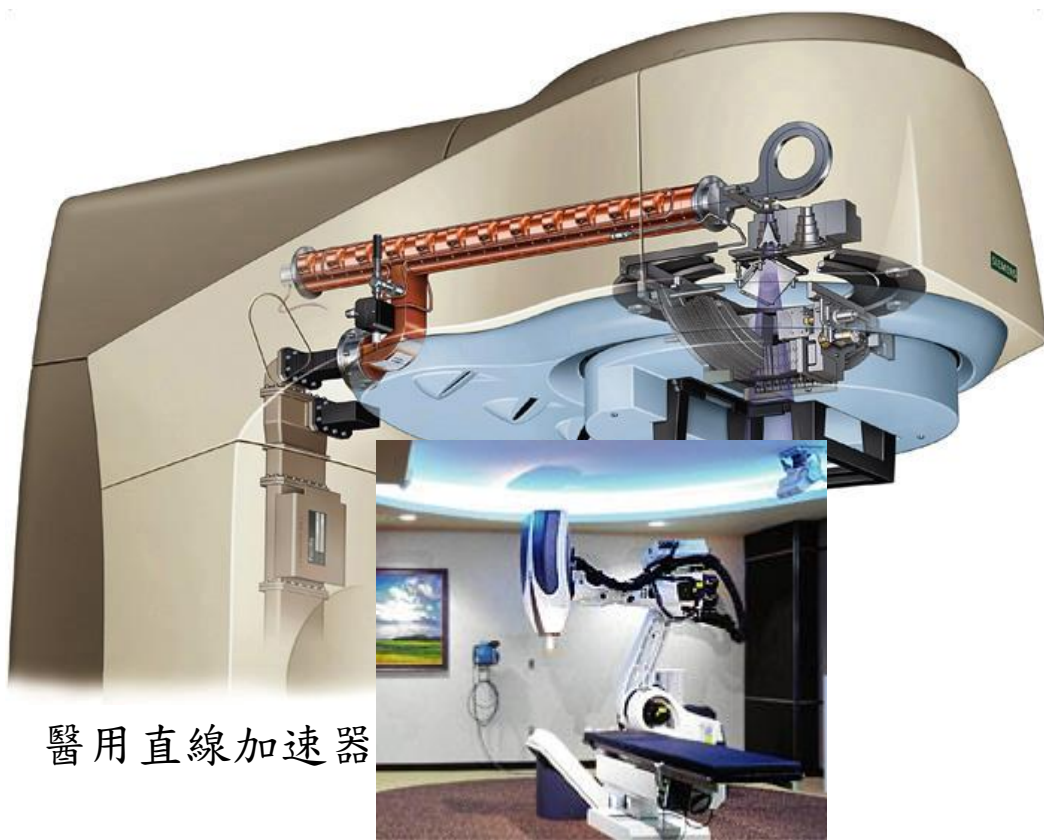


CT

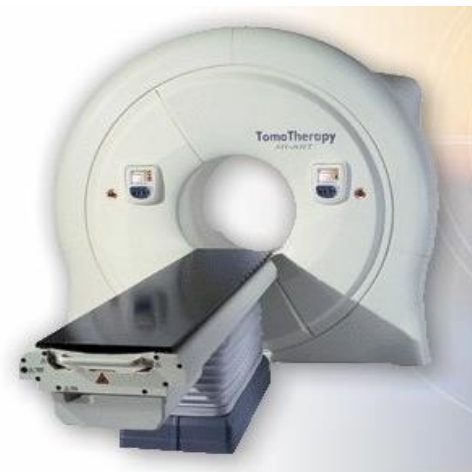


乳房攝影機

放射腫瘤治療-高能加速器



醫用直線加速器



Tomotherapy

Cyberknife

櫃型x光機



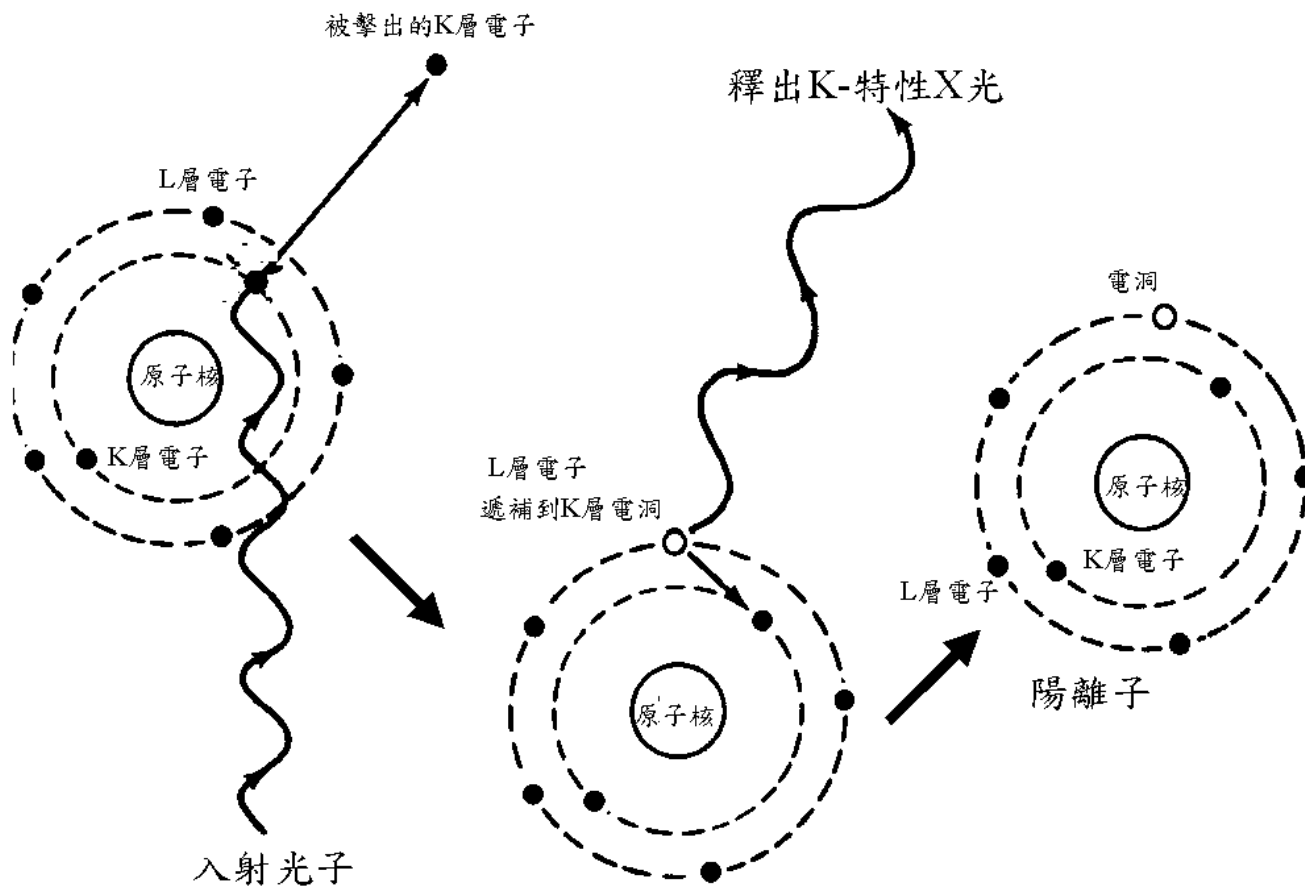
特性X光

- 輻射源發出單能或多能的輻射以激發或游離樣品，使樣品中待測的元素發出特性X射線(俗稱特性X光)。
- 不同元素發出特性X射線能量各不相同，因此通過對特性X射線能量或波長的測量，即可知道它是從何種元素發出的，從而可以進行元素的定性分析。
- 同時樣品受激發後發射某一元素的特性X射線強度與這元素在樣品中的含量有關，因此測出它的強度就能進行元素的定量分析。

螢光X射線裝置 (XRF) 原理

- 對某物質進行X射線照射會產生元素的特性X射線。螢光X射線裝置就是利用這個**特性X射線**而得到元素信息。
- 特性X射線的產生原理:如下頁圖所示，用比K層電子的束縛能量更大的X射線對物質進行照射，K層電子獲得能量向外飛出而出現空洞。
- 出現空洞後K層會變的很不穩定，此時L層或M層的電子將會填補這個空洞。但L層或M層電子的能階要比K層的大，所以當L層或M層的電子填補K層空洞時，會產生等同於能階能量差的X射線強度。
- 產生的X射線與元素特徵密切相關(特性X射線)，所以根據強度比可以得到元素信息。

特性X光(特性輻射)的產生



X射線螢光分析儀

(X-ray Fluorescent Spectrograph Analyzer)

- 利用元素發出的**特性x射線**(characteristic x-ray)又稱**螢光**來測量樣品中元素及其含量的儀器。
- 「特性」又譯為「特徵」，x射線俗稱x光。
- 主要由輻射源(x射線或放射性同位素)、偵檢器和電子設備組成。

X射線螢光分析儀

- X射線螢光分析法所使用的輻射源種類及強度最大值如下：
- 小型x光管及供電器，40kV，50 μ A。

利用密封型同位素的螢光分析儀

- 銩241(^{241}Am)，740MBq (20mCi)，1110 MBq (30mCi)。
- 鎘109(^{109}Cd)，1480 MBq (40mCi)。
- 鐵55(^{55}Fe)，740 MBq (20mCi)。

X射線螢光分析儀



桌上型
黃金成色分析儀
i-RAY X-1600

金屬成色分析儀

手提式X射線螢光分析儀

- 依照不同的分析對象，儀器可製成供野外探勘用的手提式分析儀，以及供實驗室用的，配有高分辨率偵檢器及電子計算機的多元素同時快速分析儀。
- X射線螢光分析儀廣泛應用於地質、礦山、冶金、環保、考古領域中。

手提式X射線螢光分析儀



1. 測量塑料、焊料和印刷線路板中的重金屬含量。
2. 對不同材料的分析：電纜、PCB、零部件、塑料外殼、焊料、緊固件等。
3. 可分析元素 ^{17}Cl 至 ^{92}U 。

強制執行的歐盟指令摘要

相關條例	公布日期	適用範圍	濃度上限	實施日期
Council Directive 91/338/EC	1991.6.18	所有消費品	Cd < 100ppm	1992.12.31
EC Directive 94/62/EC	1994.12.20	所有包裝材料	Cr(VI)、Hg、Pb、Cd總量 < 100ppm	1996.6.30
Council Directive 2002/95/EC-ROHS	2003.2.13	所有電子電器產品	Cr < 100ppm、Hg、Pb、PBB、PBDE < 1000ppm	2006.7.1
Council Directive 2002/96/EC-WEEE	2003.2.22	所有廢棄電子電器產品	廠家自行回收和處理含有害物質的廢棄電子電器產品	2004.8.13

Cr(VI)：鉻(6價)

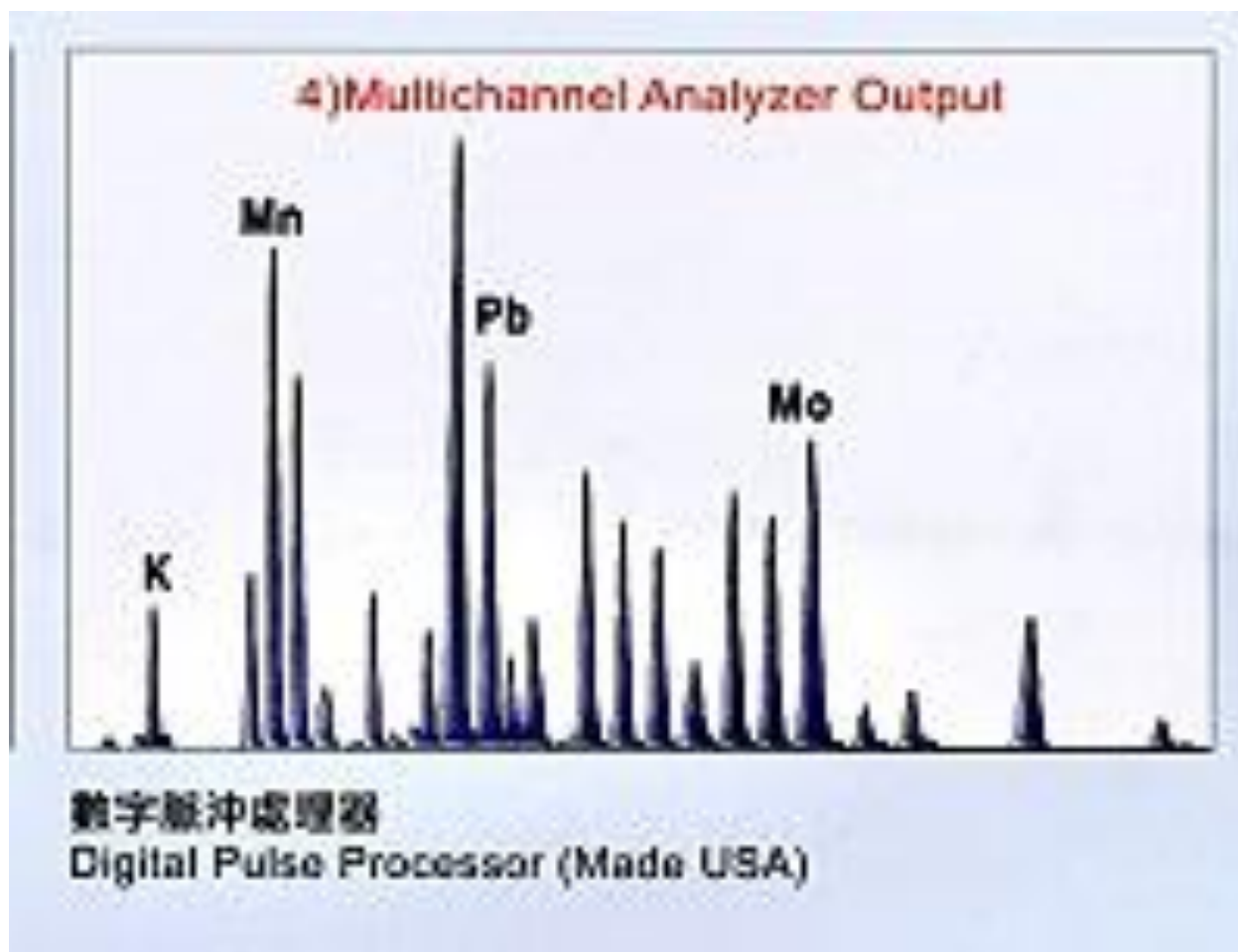
PBB：多溴聯苯(polybrominated biphenyls)

PBDE：多溴二苯醚(polybrominated diphenyl ethers)

電子產業焊料和塑料金屬含量檢驗

- 焊料：對許多電子加工廠而言，生產過程中對無鉛焊料的檢驗是必需的步驟。焊料(例如錫)中的鉛含量一般必須小於100ppm。
- 塑料：塑膠樣品如聚乙烯(polyethylene, PE)、聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)、以及烷基苯磺酸鹽(alkyl benzene sulfonate, ABS)熱塑性塑膠，若輸往歐洲需依歐盟指令的規定檢驗鉛、鎘以及其他有害重金屬。電子產品中均含有塑料。

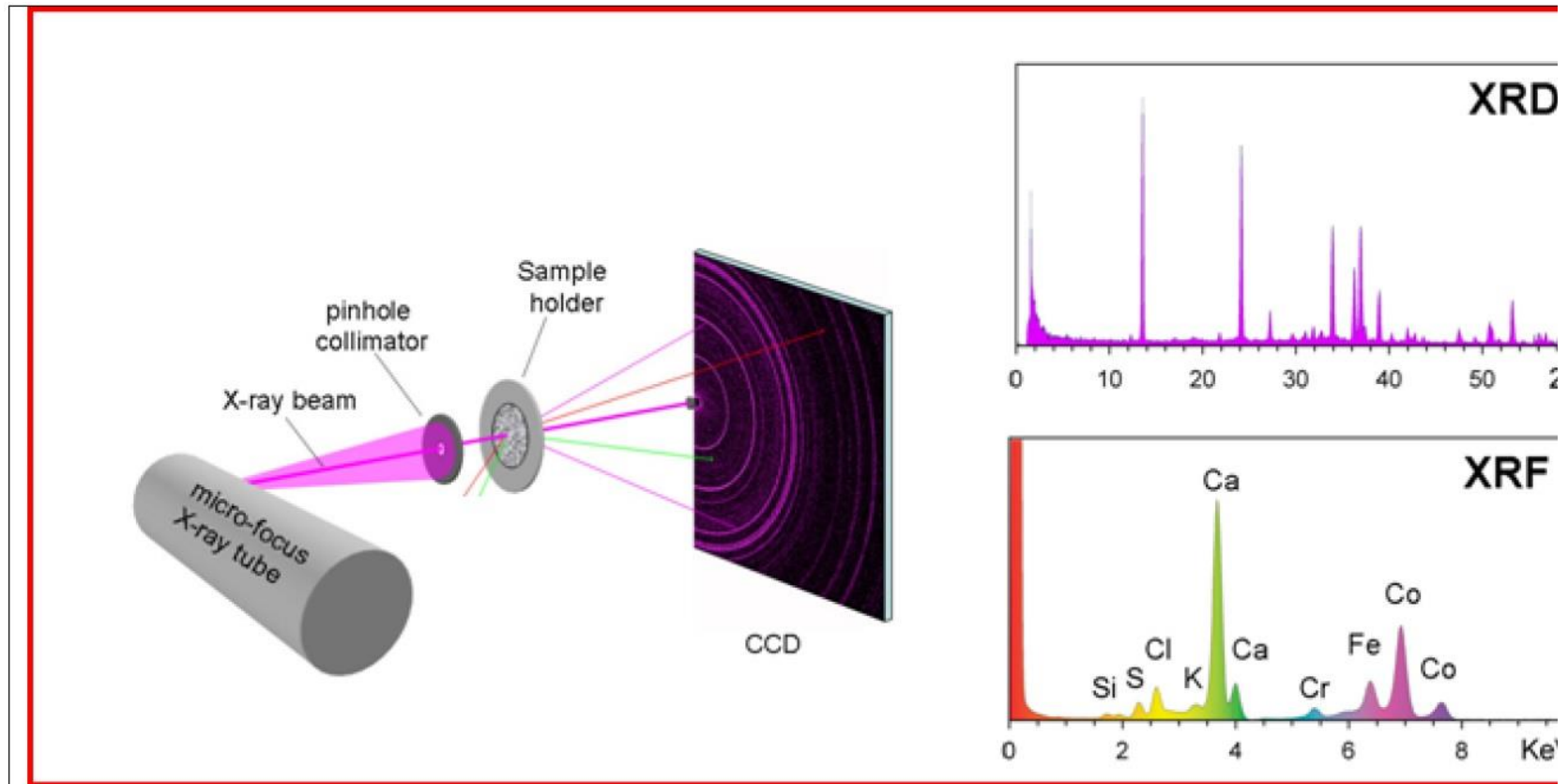
X射線螢光分析儀的特性 x光能譜



X射線繞射裝置 (XRD)

- X射線繞射裝置 (XRD) 和螢光X射線裝置(XRF)有何不同? 簡單地說, 螢光X射線裝置(XRF)能得到某物質中的元素信息 (物質構成、組成和鍍層厚度), X射線繞射裝置(XRD)能得到某物質中的結晶信息。
- 具體地說, 比如用不同的裝置測定食鹽(氯化鈉= NaCl)時, 從螢光X射線裝置得到的信息為此物質由鈉(Na)和氯(Cl)構成, 而從X射線繞射裝置得到的信息為此物質由氯化鈉(NaCl)的結晶構成。
- 單純地看也許會認為能知道結晶狀態的X射線繞射裝置(XRD)為好, 但當測定含多種化合物的物質時只用繞射裝置(XRD)就很難判定, 必須先用螢光X射線裝置(XRF)得到元素信息後才能進行定性。

XRD VS XRF

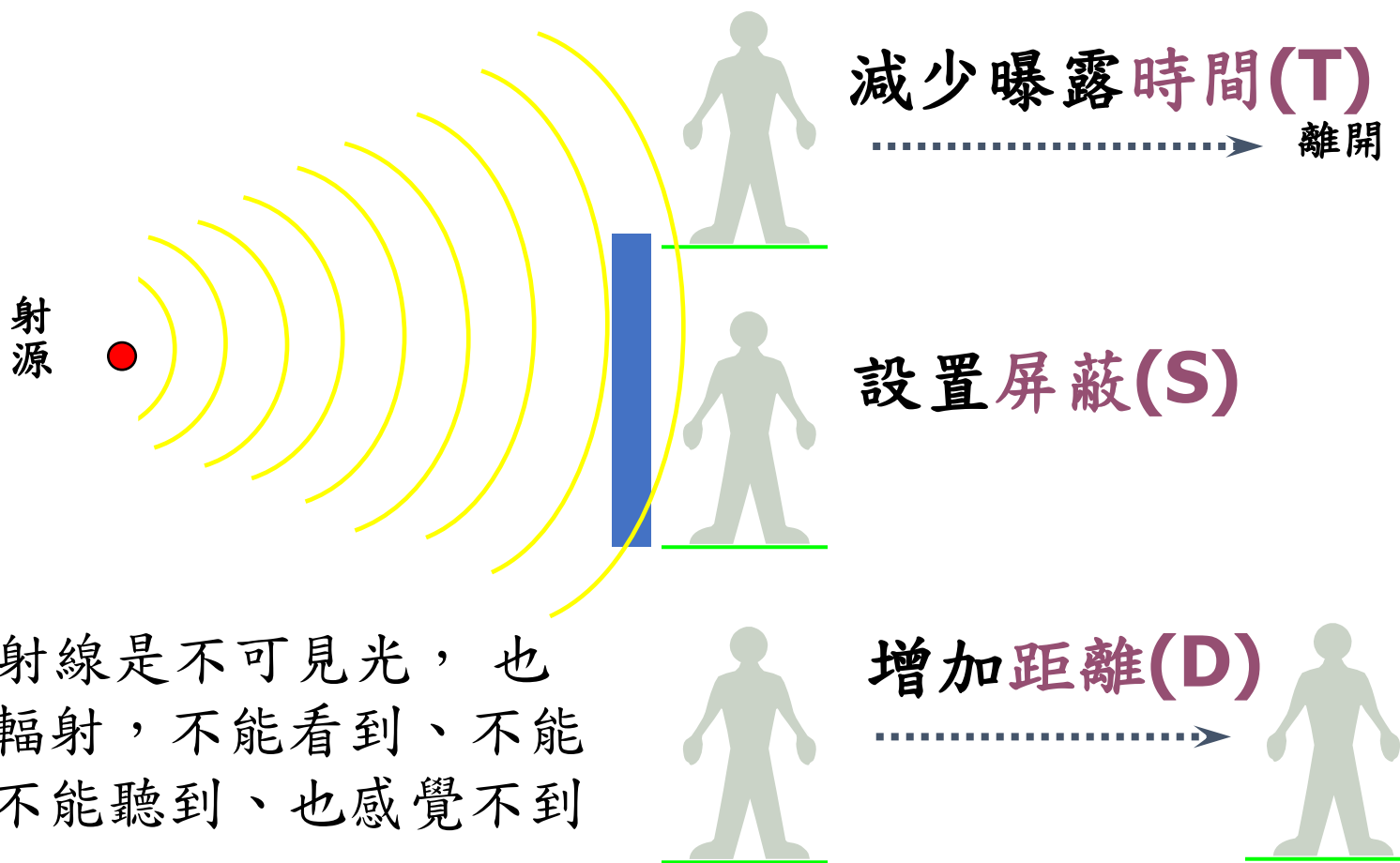


BTX uses a 30Kv X-ray tube to generate X-rays necessary for XRF and XRD analysis

3. X光機輻射安全與屏蔽規劃

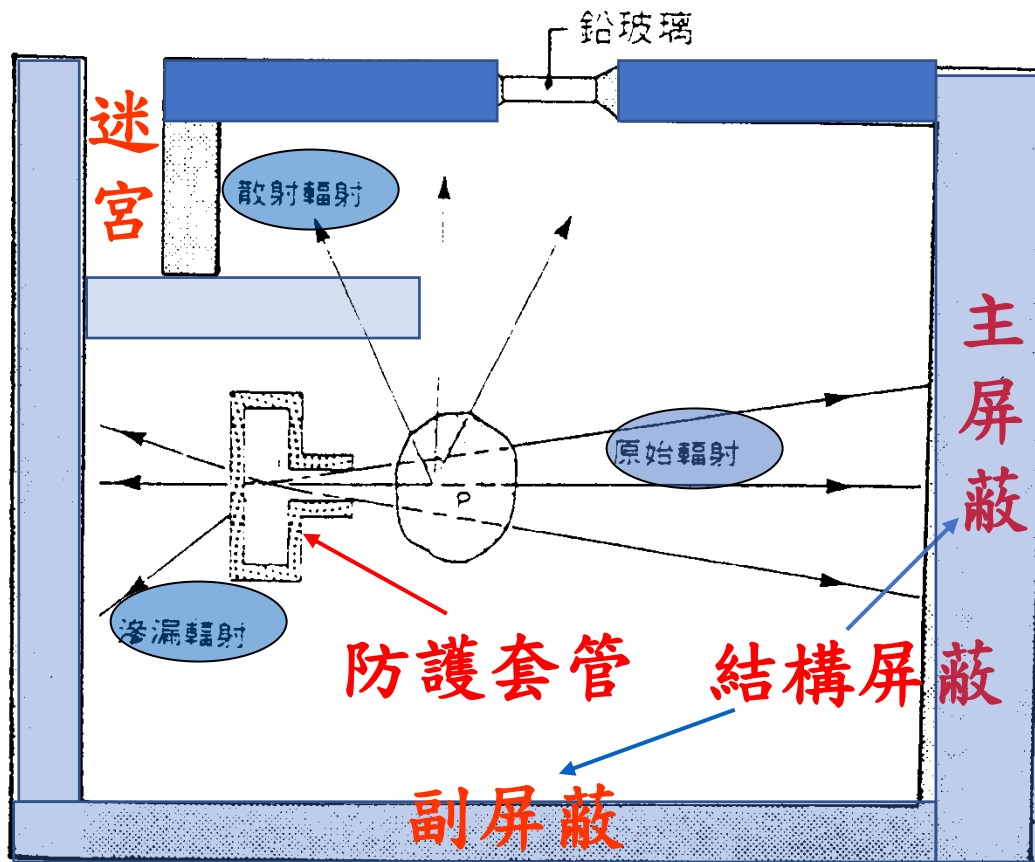


體外曝露的輻射防護原理 (TSD原理)



X光與γ射線是不可見光，也是電磁輻射，不能看到、不能聞到、不能聽到、也感覺不到

屏蔽牆設計的基本原則和方法



Shielding:

- source housing
- structural shielding
 - primary barrier
 - useful radiation
- secondary barrier
- leakage radiation
- scatter radiation

防護管套（射源屏蔽）

- 診斷型：使用中之診斷型X光管，其滲漏輻射(空氣克馬率)在距靶一公尺處，每小時不得超過0.87 mGy (100毫侖琴)(25.8 μ C/kg)。

名詞定義

- 工作負荷(workload, W)：每星期操作X光機的總時間(t)及管電流(I)的乘積，單位為毫安培分(mAm)。
- 使用因數(use factor, U)：在操作期間X光射向某一面牆屏蔽的機率。例如，固定式X光機，照射方向的使用因數為 $U=1$ 。而旋轉式X光機，則按每面牆實際接受X光的照射時間分率，決定使用因數 $U<1$ ，但各面牆的 U 值總和為1。

名詞定義（續）

- 佔用因數(occupancy factor, T)：在結構屏蔽牆外的場所，被人佔用的時間分率。附錄六舉出一些參考例子，此處假設X光機每天操作時間不超過8小時。
- 週最大許可曝露(weekly permissible exposure, P)：人員劑量限度。譬如工作人員才能進入的管制區為 0.4 mSv/week (0.1 倫琴/週)($25.8 \mu\text{C/kg}$)，一般人員都可進出的非管制區為 0.02 mSv/week (0.01 倫琴/週)($2.58 \mu\text{C/kg}$)。

Occupancy Factor (佔用因數)

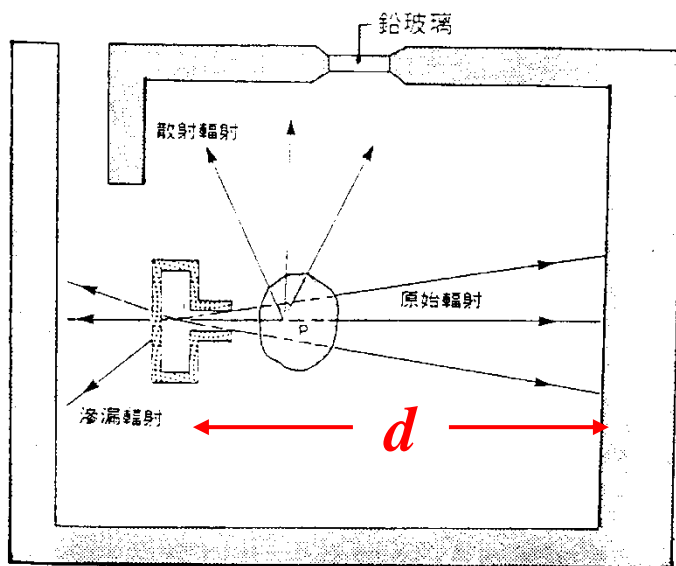
TABLE 10.1. Occupancy Factors

Full occupancy $T = 1$	Control space, wards, workrooms, darkrooms, corridors large enough to hold desks, waiting rooms, rest rooms used by occupationally exposed personnel, children's play areas, living quarters, occupied space in adjacent buildings
Partial occupancy $T = 1/4$	Corridors too narrow for desks, utility rooms, rest rooms not used routinely by occupationally exposed personnel, elevators run by operators, and uncontrolled parking lots
Occasional occupancy $T = 1/16$	Stairways, automatic elevators, outside areas used only for pedestrians or vehicular traffic, closets too small for future workrooms, toilets not used routinely by occupationally exposed personnel

屏蔽牆的防護設計

$$K(\text{transmission}) = \frac{P}{\dot{H}_d} = \frac{P \cdot d^2}{\dot{H}_1}$$

$$\dot{H}_1 = \begin{cases} \Gamma \left(\frac{\text{mSv-m}^2}{\text{Bq-h}} \right) \cdot \frac{A(\text{Bq})}{1(\text{m}^2)} \cdot t \left(\frac{\text{h}}{\text{wk}} \right) & \text{for } \gamma\text{-ray} \\ W \left(\frac{\text{mA-min}}{\text{wk}} \right) \cdot k \left(\frac{\text{mSv}}{\text{mA-min}} \text{ at } 1\text{ m} \right) & \text{for x-ray} \end{cases}$$



先計算 $K = \frac{P \times d^2}{W \times U \times T}$
再查表求屏蔽厚度

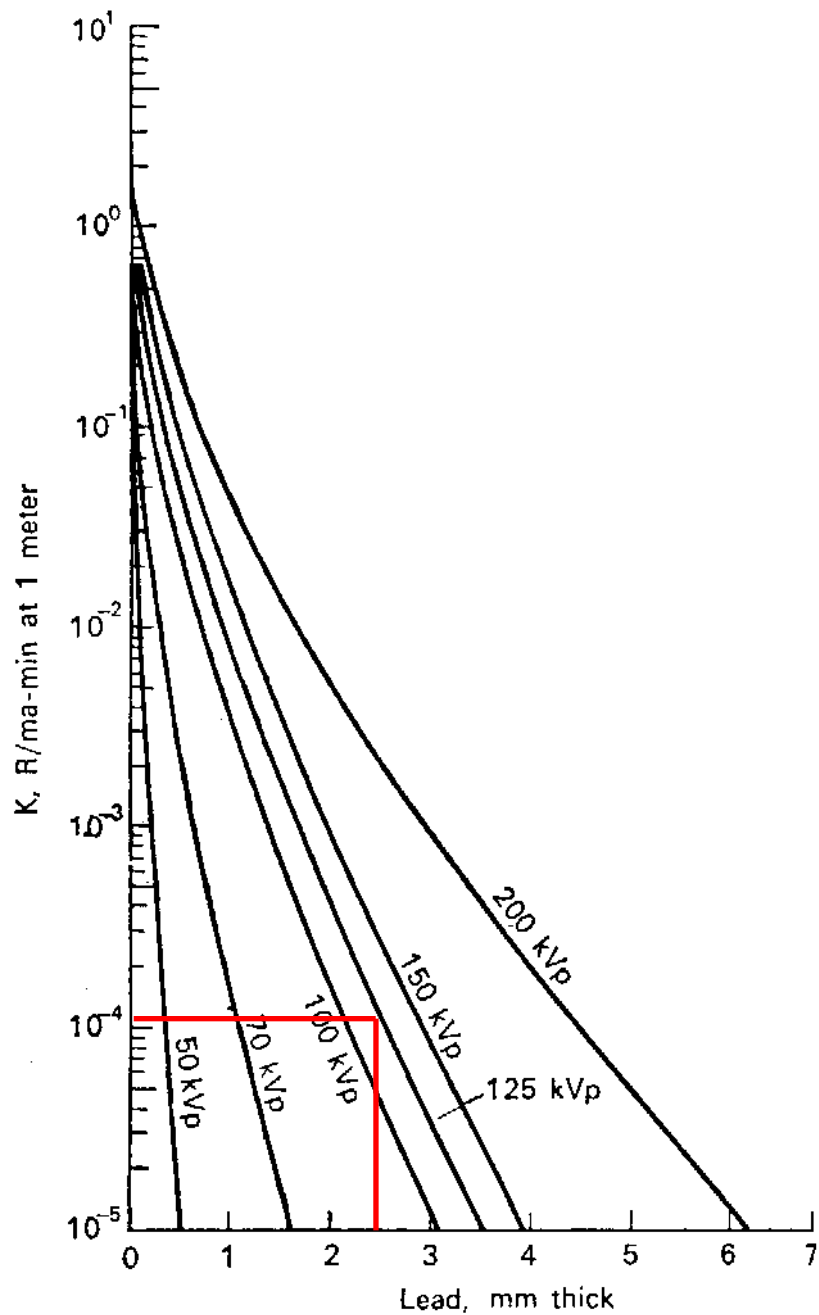
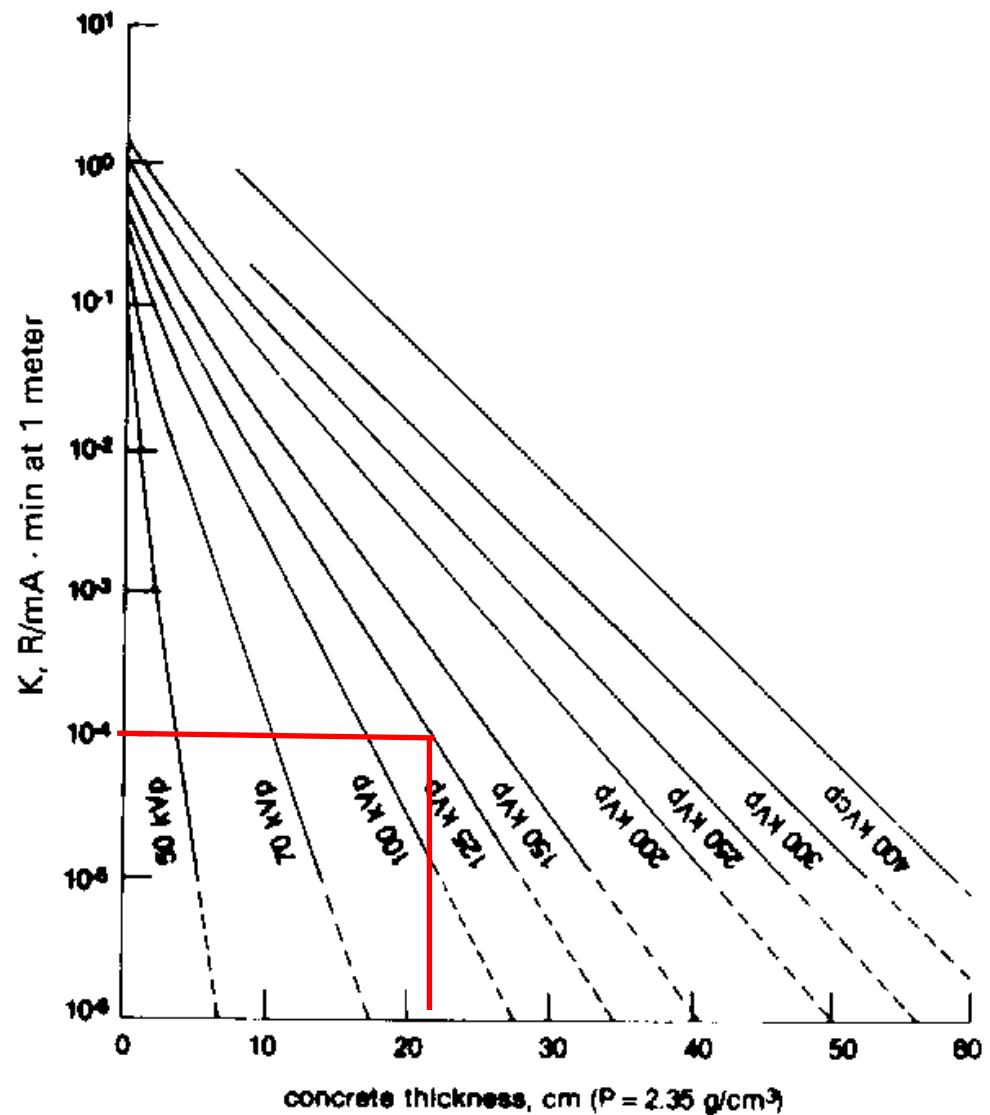


FIGURE 10.12. Broad-beam attenuation in lead of X-rays produced by potentials of 50 to 200 kV peak. The measurements were made with a 90° angle between the electron beam and the axis of the pulsed wave form X-ray beam. The 50-, 70-, 100-, and 125-kVp X-rays were filtered with 0.5-mm aluminum; the 150- and 200-kVp X-rays were filtered with 3-mm aluminum. (From *Radiological Health Handbook*, 1970.)

FIGURE 10.13. Attenuation in concrete of X-rays produced by potentials of 50 to 300 kVp; 400 kV constant potential. The measurements were made with a 90° angle between the electron beam and the axis of the X-ray beam. The curves for 50 to 300 kV are for a pulsed waveform. The filtrations were 1 mm Al for 50 kV, 1.5 mm Al for 70 kV, 2 mm Al for 100 kV, and 3 mm Al for 125, 150, 200, 250, and 300 kV. The 400-kV curve was interpolated from data obtained with a constant potential generator and inherent filtration of approximately 3 mm Cu. (From NCRP Report No. 49, *Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X-Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV*, 1976. Full-size reproductions of the figures giving barrier requirements are available from the NCRP as an adjunct to the report. By permission.)



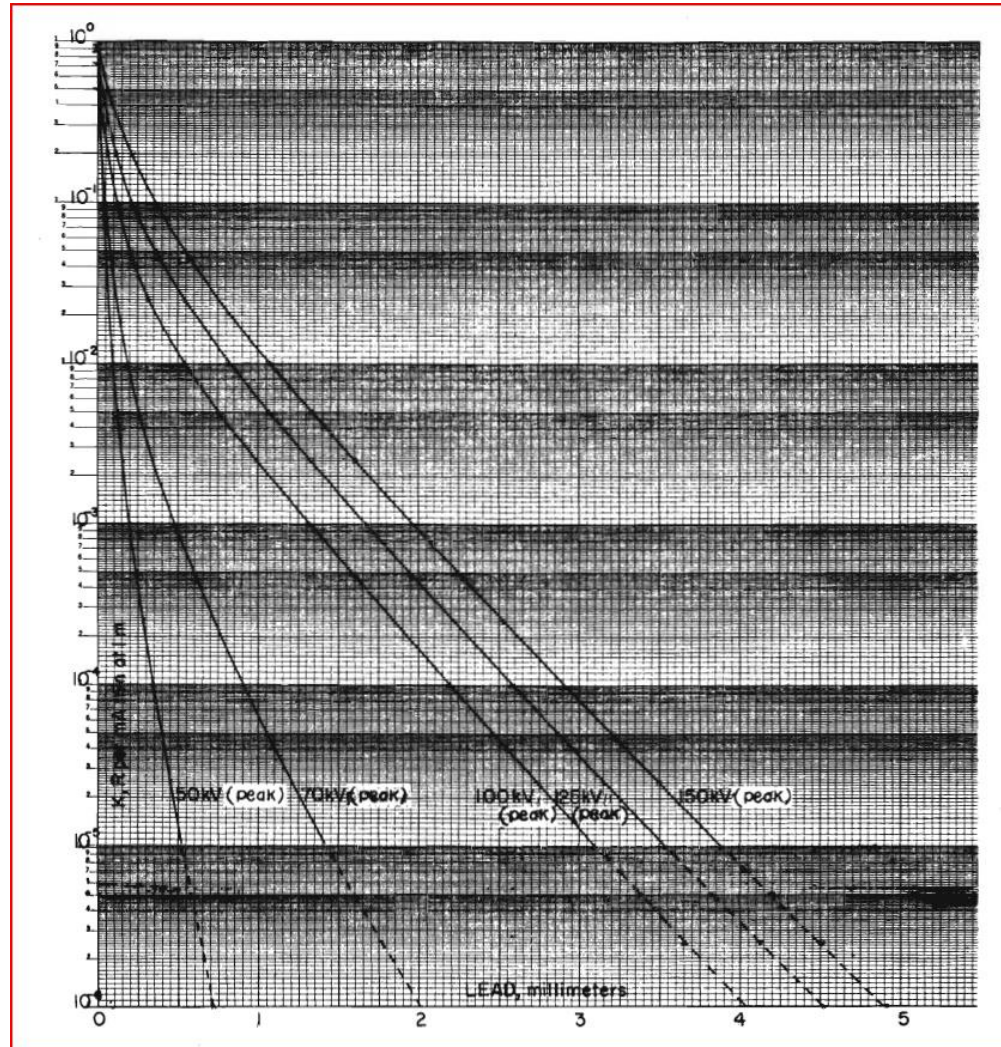
光子屏蔽的材料選擇

- 光子(X射線或 γ 射線)的穿透力很強，任何屏蔽都無法完全衰減光子。
- 密度愈高的屏蔽(每單位體積內的電子數愈多)，衰減的光子愈多。
 - 例：鉛的密度比水大，所以鉛的屏蔽效果比水好。
- 低能量X射線之屏蔽(容易發生光電效應)，以高原子序數(Z)的物質為佳。

常用屏蔽材質的半值層(HVL)厚度

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

50-150 keV X光在鉛中衰減曲線



個人用輻射防護設備及器具簡介



適當的結構屏蔽



移動式鉛屏風屏蔽



個人的防護屏蔽

鉛手套



鉛眼鏡



鉛頸



鉛衣的效果

無鉛衣包覆



有鉛衣包覆



照相條件



過濾效率

$$(193-2.88)/193=98.5\%$$

鉛衣完整性測試



輻射屏蔽

X光行李檢查儀

鉛簾



鉛壁

鉛當量(Lead Equivalent)

- 係指在相同照射條件下，具有與被測防護材料同等屏蔽能力的鉛層厚度。
- 防護條件需視輻射狀況而定，屏蔽、距離、時間是體外防護三原則，應善加利用。
- 輻射防護方法，端視射源種類及能量而定，並非只考量加厚鉛衣一種方案，否則會很不切實際(鉛很重)，病人也會負荷不了。
- 鉛衣規格0.25、0.35、0.5mmPb鉛當量

選用鉛作為光子防護材料的原因

- 1. 元素穩定、天然放射性同位素少
- 2. 高原子序(82)、密度大(11.34g/cm³)
- 3. 天然存量多，取得較容易，相對便宜

optic 物理小站

化學元素週期表

Periodic Table of Elements

Legend for Periodic Table:

- 金屬元素 (Metals)
- 非金屬元素 (Non-metals)
- 固體元素 (Solids)
- 液體元素 (Liquids)
- 氣體元素 (Gases)
- 人造元素 (Synthetic elements)

Diagram labels: 原子序 (Atomic number), 元素中文名稱 (Element name), 元素符號 (Element symbol), 原子量 (Atomic weight).

24	25	26	27	28	29	30	31	32	
鉻 Cr	錳 Mn	鐵 Fe	鈷 Co	鎳 Ni	銅 Cu	鋅 Zn	鎵 Ga	鍺 Ge	
52.00	54.94	55.85	58.93	58.69	63.55	65.32	69.72	72.59	
42	43	44	45	46	47	48	49	50	
鉬 Mo	碲 Te	鈿 Ru	銻 Rh	鈀 Pd	銀 Ag	鎘 Cd	銦 In	錫 Sn	
95.94	98.91	101.1	102.9	106.4	107.9	112.4	114.8	118.7	
74	75	76	77	78	79	80	81	82	
鎢 W	錒 Re	銱 Os	銲 Ir	鉑 Pt	金 Au	汞 Hg	鉍 Tl	鉛 Pb	
183.9	186.2	190.2	192.2	195.1	197.0	200.6	204.4	207.2	

非鉛不可?

鎢罐



鎢注射筒



光子屏蔽材料選擇的其他考量

任何建築材料如鐵、混凝土、磚等，皆可作為光子的屏蔽。考量屏蔽效果、經濟性、實用性之後，最常用的屏蔽材料為鉛與混凝土。

◎選擇光子屏蔽材料的其他因素：

1. 所需材料的厚度與重量。
2. 多重用途（例如材料是否可兼作屏蔽與結構雙重用途）。
3. 屏蔽的均勻性。
4. 屏蔽的耐久性。
5. 材料花費；包括裝置與維護費用。
6. 美觀。

X射線螢光分析儀的輻射防護

- 所用低能量光子是相當易於屏蔽，但必須要小心以防止直接曝露於主輻射束，特別是靠近儀器。
- 良好設計與維持的鄰近裝置(proximity device)，能防止安全活門的開啟，除非探頭是與調查中的樣品接觸。必須細心運用，避免射源的正面受損傷。



屏蔽檢測範例與說明-特例處理



測試條件: 124kV, 100mA, 1 s



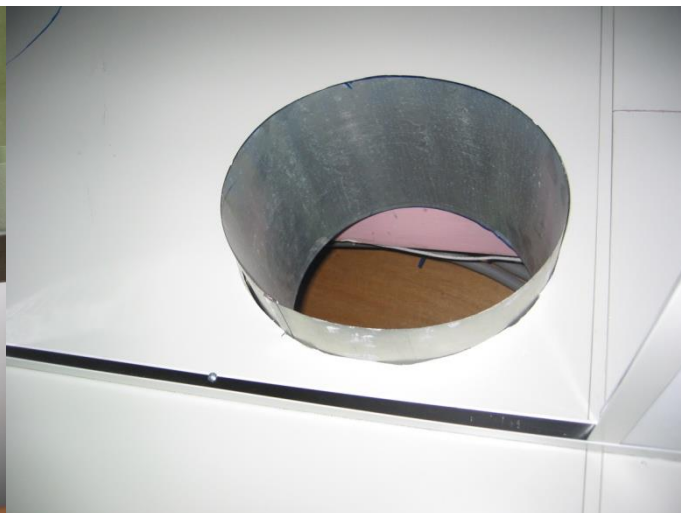
控制台前鉛玻璃: 2.13μSv/h



控制台鉛玻璃上方: 10.5μSv/h



鉛皮後降至: 0.79 μSv/h



檢查控制台上方發現風管裸露未包覆任何鉛皮



屏蔽檢測範例與說明-特例處理



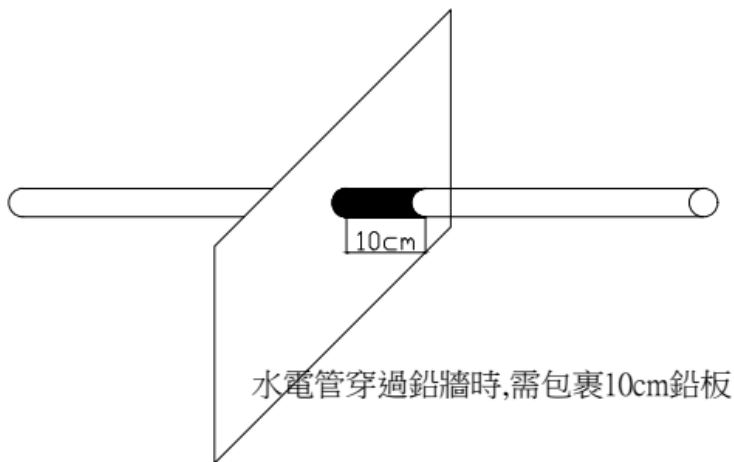
廠商隨意以鉛皮檔住出口情形 控制台鉛玻璃上方: 0.65 $\mu\text{Sv/h}$



23:50:46 冰水管路出口仍有: 5.9 $\mu\text{Sv/h}$

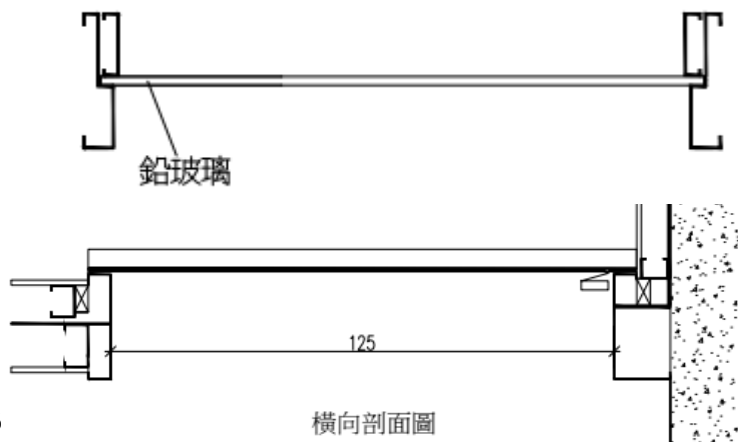
以鉛皮鋪設冰水管路下方劑量降至: 1.13 $\mu\text{Sv/h}$

施工範例



水電管穿過鉛牆時,需包裹10cm鉛板

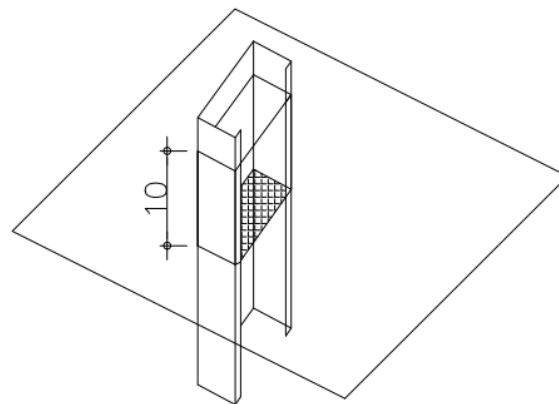
水電管穿牆時之鉛防護



鉛玻璃

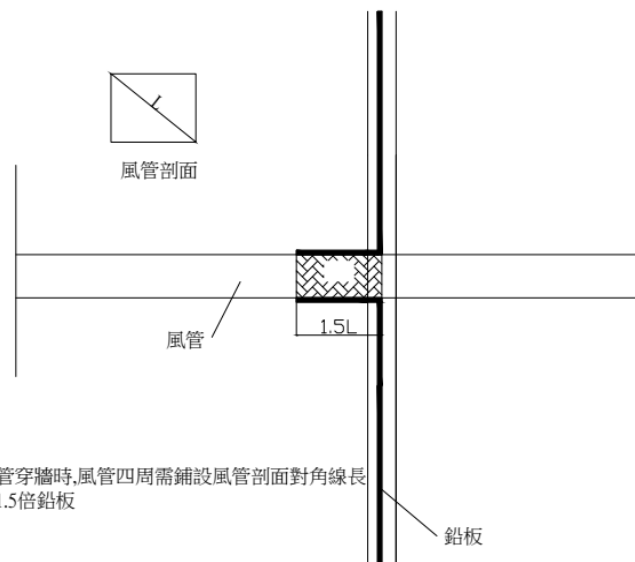
125

橫向剖面圖



鉛板穿過骨架時需向上包裹10cm,並以小鉛板填骨架中縫細

鉛板穿過輕隔間骨料圖



風管剖面

風管

1.5L

鉛板

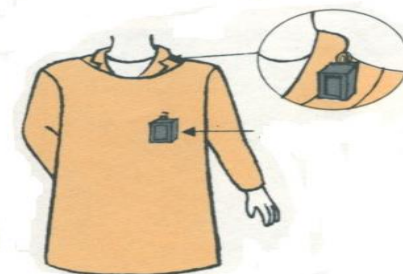
風管穿牆時,風管四周需鋪設風管剖面對角線長的1.5倍鉛板

屏蔽檢測範例與說明-特例處理

- 當量測到較高劑量率值時：
 - 1. 以2 mm鉛皮包覆偵檢器四周，偵檢器前方仍對準輻射源。
 - 2. 以相同條件測試，若劑量值變化不大，表示其為主射束穿透；若劑量率大幅降低，表示先前劑量貢獻來自散射輻射。
 - 3. 將偵檢器往上方高度擺放，若劑量率有增加之趨勢，表示其洩漏來自上方，反之亦然。
 - 4. 將天花板掀開，確認屏蔽是否做到頂？有無風管等穿牆管道未包覆？

佩帶人員劑量配章

- TLD佩章表面突出物應朝外佩帶。
- 穿著鉛衣時應將佩章佩帶於鉛衣內。
- 佩章受到不當曝露，應立即告知輻防人員。
- 工作完畢應將佩章放回佩章架。
- 每月依規定定時計讀。
- 離職時應向輻防人員索取工作期間劑量報表。



4.法規對X光機操作安全之規定

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

- 第十七條 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。
 - 二、櫃型或行李檢查X光機、離子佈植機、電子束接近者、電其子束接近者、靜電消除器、劑量率為每小時五微西弗。
 - 三、其他經主管機關指定者。
- 使用前項以外或前項第一款非屬醫療用途者，而對人體直接照射前之許可證。

放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法-登記備查類

- 第五條 本法第三十一條第二項規定之一定活度或一定能量之限值如下：
 - 一、毒氣偵檢器中任一組件所含銻二四一之活度為十百萬貝克(MBq)，且可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗。
 - 二、放射性物質在儀器或製品內或形成一組件，其活度為豁免管制量一千倍以下，且可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗。
 - 三、氣相層析儀或爆裂物偵檢器所含鐳六三之活度為七百四十百萬貝克。

放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法-登記備查類

- 四、避雷針中所含鎬二四一之活度為三百七十七萬貝克。
- 五、前四款以外之放射性物質活度為豁免管制量一百倍。
- 六、可發生游離輻射設備其公稱電壓為十五萬伏或粒子能量為十五萬電子伏。
- 七、櫃型或行李檢查x光機、離子佈植機、電子束焊機或靜電消除器，其可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗。
- 八、其他經主管機關指定者。

放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法-學生操作資格

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

放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法-學生操作資格

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

放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法-操作許可類

- 操作放射性物質或可發生游離輻射設備之人員，除符合下列要件外，應符合資格：
 - 一、經主管機關認可之輻射防護訓練業務者依輻射防護服務相關業務管理辦法附表二規定辦理之訓練。
 - 二、國內公立或立案之私立大學校院或符合教育部採認規定之國外大學校院取得輻射防護人員管理辦法附表所定輻射防護相關課程達四學分以上。

放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法

- 三、本法施行前曾參加主管機關認可或委託辦理之游離輻射防護講習班。
- 前項第一款之訓練不得以第六條第一項第一款規定之訓練抵充計算之。
- 外國人因履行承攬、買賣、技術合作等契約之需要，在中華民國境內從事契約範圍內之工作，須操作放射線性物質或可發生游離輻射設備時，應由訂約之設施經營者檢具該外國人之國外操作或輻射防護訓練證明文件影本，向主管機關申請審查合格後，始得為之。

櫃型x光機輻射安全

- 櫃型x光機本身就是管制區。
- 櫃型x光機本身以外就是管制區以外，一般人距任何可以接近櫃型x光機外表面5cm處之劑量率最高不超過 $0.5\mu\text{Sv/h}$ 。
- 若未達此一標準，則測量劑量率不超過 $0.5\mu\text{Sv/h}$ 的區域，以為一般人可以活動的區域。
- 櫃型x光機可以放置在一般人操作的房間。

管制區外 $\leq 0.5\mu\text{Sv/hr}$

- 一般人之年劑量限度為 $\leq 1\text{mSv/y}$ 。
- 一年工作時數為2000hr。
- $1\text{mSv}/2000\text{hr}=0.5\mu\text{Sv/hr}$ 。
- 管制區外 $\leq 0.5\mu\text{Sv/hr}$ 。

管制區內人員居佔位置 $\leq 10\mu\text{Sv/hr}$

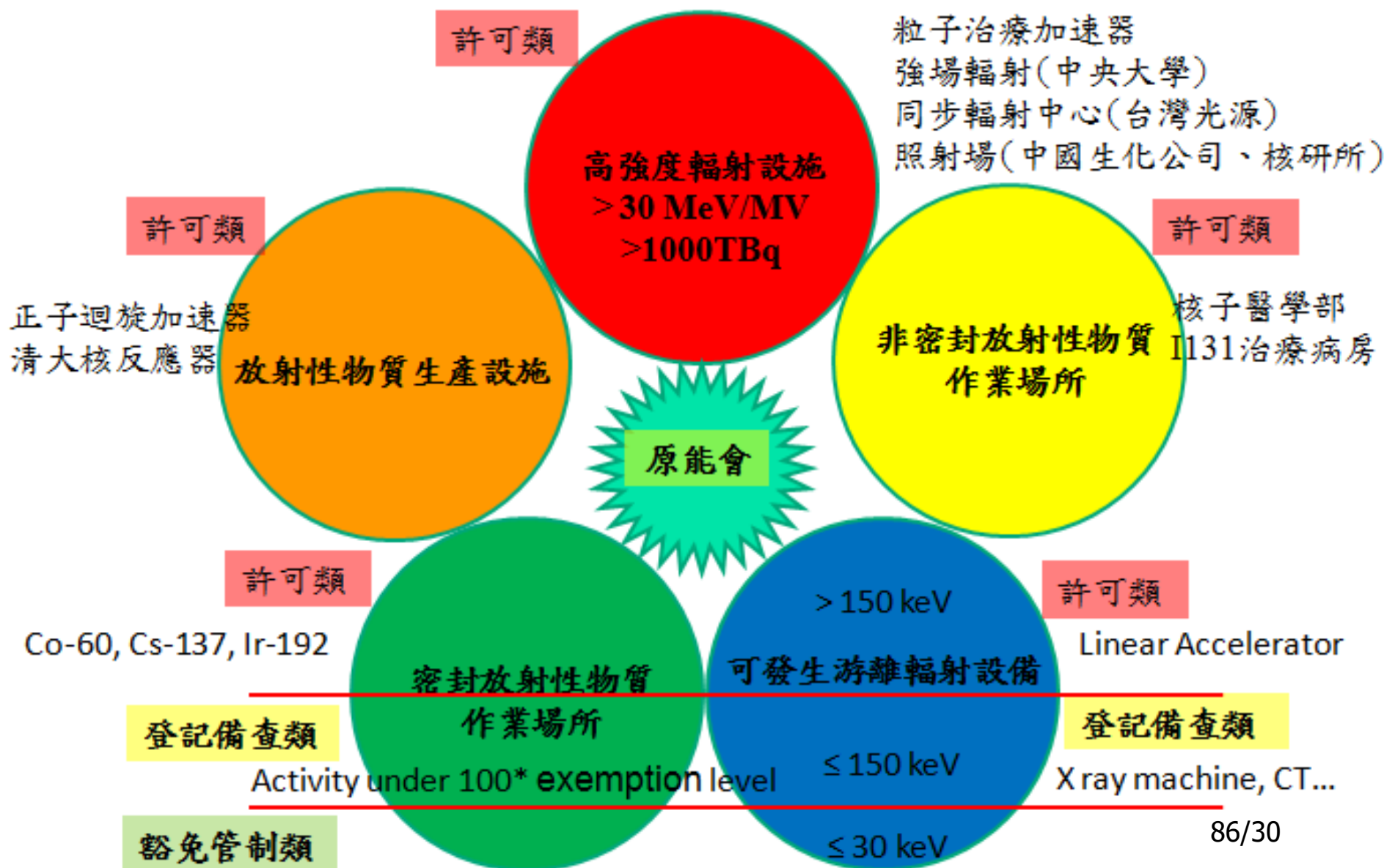
- 輻射工作人員每連續5年之劑量限度為 $\leq 100\text{mSv}$ ，平均一年為 $\leq 20\text{mSv}$ 。
- 一年工作時數為 $2000\text{hr}(=8\text{hr/d}\times 5\text{d/week}\times 50\text{week/yr})$ 。
- $20\text{mSv}/2000\text{hr} = 20000\mu\text{Sv}/2000\text{hr} = 10\mu\text{Sv/hr}$ 。
- 管制區內人員居佔位置 $\leq 10\mu\text{Sv/hr}$ 。

密封射源輻射防護

目錄

- 壹.定義
- 貳.密封放射性同位素的應用
- 參.常見之密封射源
- 肆.密封射源的輻射防護

放射性物質與可發生游離輻射設備管理辦法



壹.密封射源定義

- 國際放射防護委員會(ICRP)定義:

將放射性物質密封在足夠強度的容器中，或將其牢固地摻合在非放射性材料內，在正常使用情況下，能防止放射性物質散失或逸漏，使人員不易與該放射性物質接觸，稱為密封射源。

- 密封在包殼或緊密覆蓋層裡的輻射源。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。

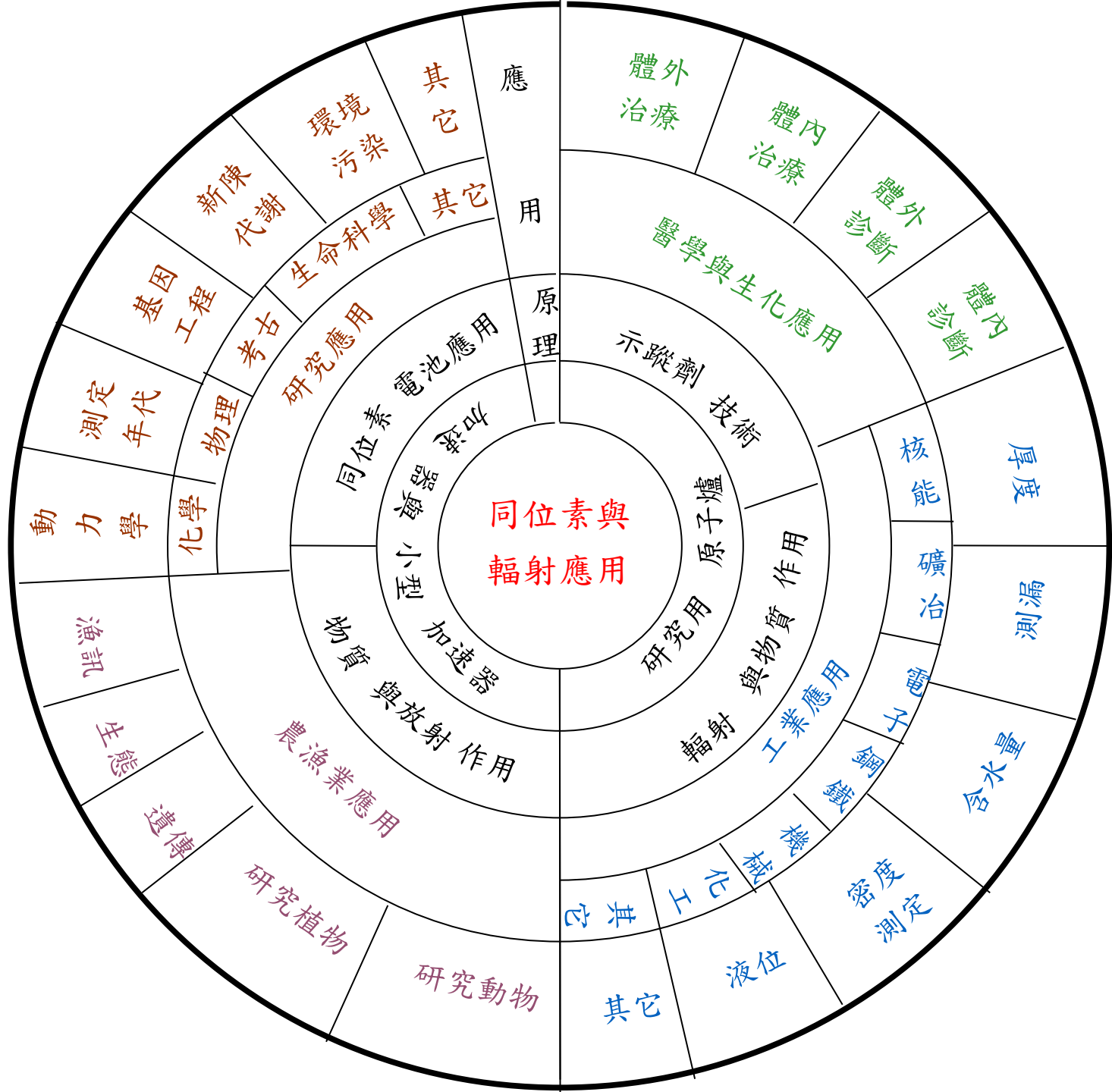
密封射源種類

- 種類：計有阿伐、貝他、加馬、中子和低能量光子射源。
- 幾何形狀：有點狀、線狀、面狀、圓柱狀、圓環狀。
- 活度精確度：有核對級(check)、操作級、參考級、標準級等不同級別的射源。
- 用途：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。

貳.密封放射性同位素的應用

1. 核子醫學
2. 放射線治療(^{60}Co)
3. 農業照射
4. 滅菌消毒
5. 輻射計測
6. 放射非破壞檢驗

農業:在食物的保存上，輻射可以阻止根塊植物在收成之後發芽，殺除一些攀在植物上的寄生蟲與害蟲，還可以用來控制一些儲存起來水果以及蔬菜的成熟度。



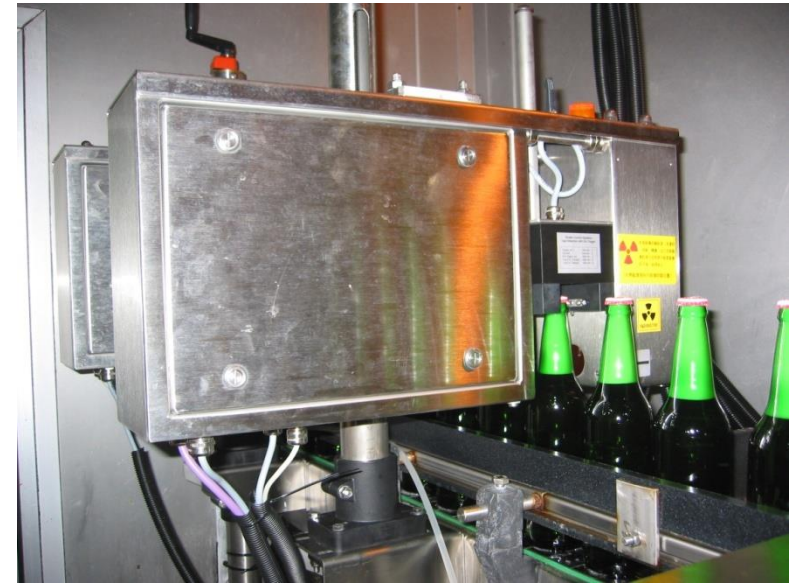
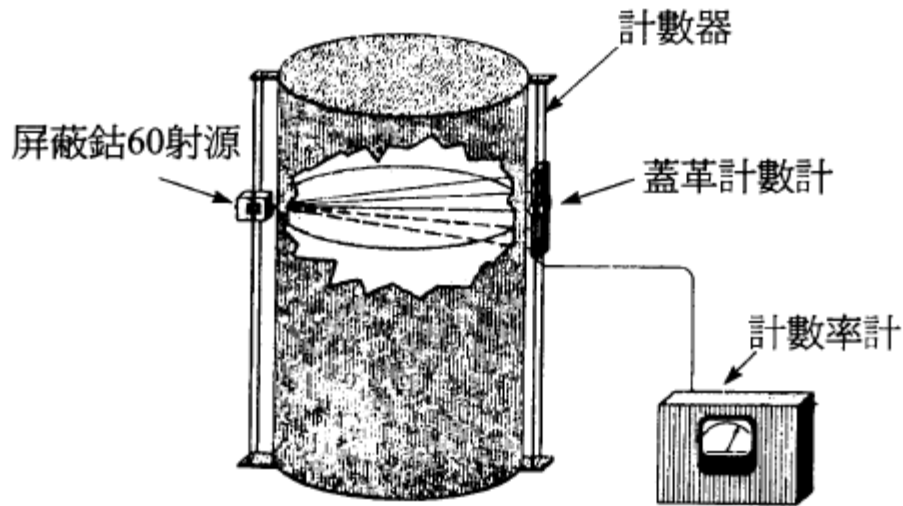
密封射源的應用

- 阿伐射源：煙霧警報器、靜電消除器、避雷器的離子產生器、活度量測與能譜分析的參考射源，
Ex: ^{210}Po 、 ^{238}Pu 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am 、 ^{235}U 、 ^{238}U 。
- 貝他射源：測厚計、標誌發光體、離子產生器、參考射源或操作級射源。
- 低能量加馬射源：螢光分析儀、厚度計、密度計，
Ex: ^{55}Fe 、 ^{57}Co 、 ^{109}Cd 、 ^{125}I 、 ^{153}Gd 、 ^{210}Pb 。
- 加馬射源：廣泛用於工業、農業、科學研究等。
- 中子射源：用於地質探勘、輻射育種、活化分析、濕度計和科學研究。

1. 放射性同位素示蹤劑技術(Radioisotope Tracer Techniques) #1 (註)
 - 流速與流量測定(measurement of flow velocity and rate)
 - 測漏(detection of leakage)
 - 測混合(mixing of fluids, powders, slurries and gases)
 - 測腐蝕(measurement of corrosion rate)
2. 放射照相技術(Radiography Techniques) #2
 - 加馬與 x 射線(industrial gamma and x ray radiography)
 - 非破壞性檢驗(non-destructive testing)
 - 中子照像(neutron radiography)
3. 計測儀技術(Gauging Techniques) #2
 - 穿透計(transmission gauges, beta and photon)
 - 貝他回散射計(beta backscatter gauge)
 - 加馬回散射計(gamma backscatter gauge)
 - x 射線螢光計(x ray fluorescence gauge)
 - 液位計(photon switching, level gauge)
 - 選擇加馬吸收(selective gamma absorption)
 - 加馬散射(gamma scattering)
 - 熱化中子(thermalization of neutrons)
 - 中子穿透(neutron transmission)
4. 輻射照射技術(Irradiation Techniques) #3
 - 輻射滅菌(radiation sterilization)
 - 食物保鮮(food preservation)
 - 高分子聚合、熱化與接枝等(radiation polymerization、cross-linking、curing and grafting)
 - 環境保護(treatment off gases、liquid and solid wastes)
5. 分析技術(Analytical Techniques) #3
 - x 射線螢光(x-ray fluorescence)
 - 電子捕獲(electron capture)
 - 中子捕獲與活化分析(neutron capture and activation analysis)
6. 其他(Miscellaneous Techniques) #3 & #4
 - 靜電消除器(static elimination)
 - 煙霧偵檢器(smoke detectors)
 - 發光警示系統(lightning warning systems)
 - 露點計(dewpoint meters)
 - 強化放電(enhancement of electrical discharge)
 - 核子電池(nuclear batteries)

叁. 常見之密封型射源

密封射源的工業應用



啤酒廠品管線

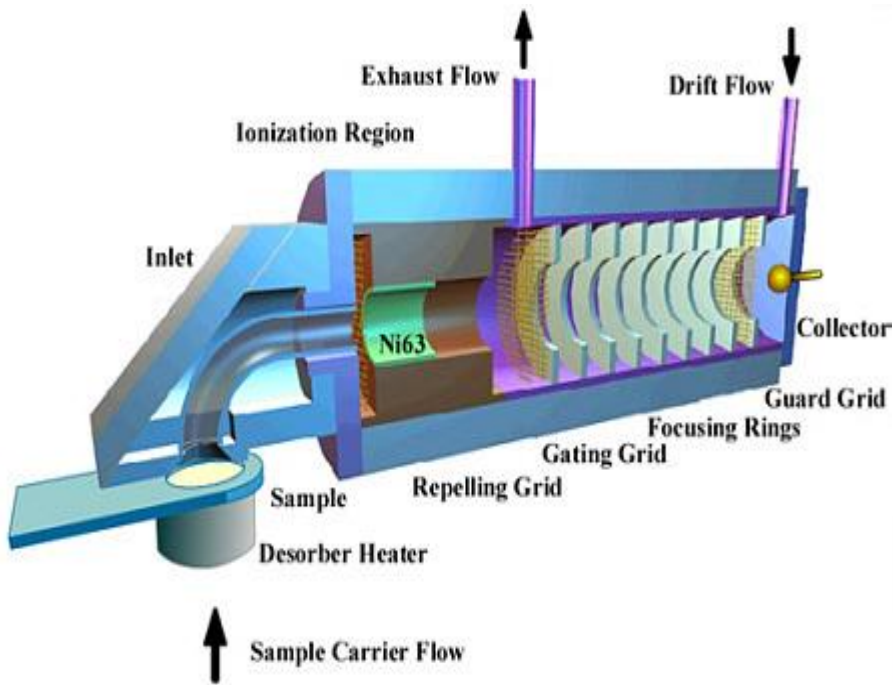


抽砂船

X-Ray VS Gamma-Ray Scan



爆裂物/毒品/生物化學戰劑偵檢器



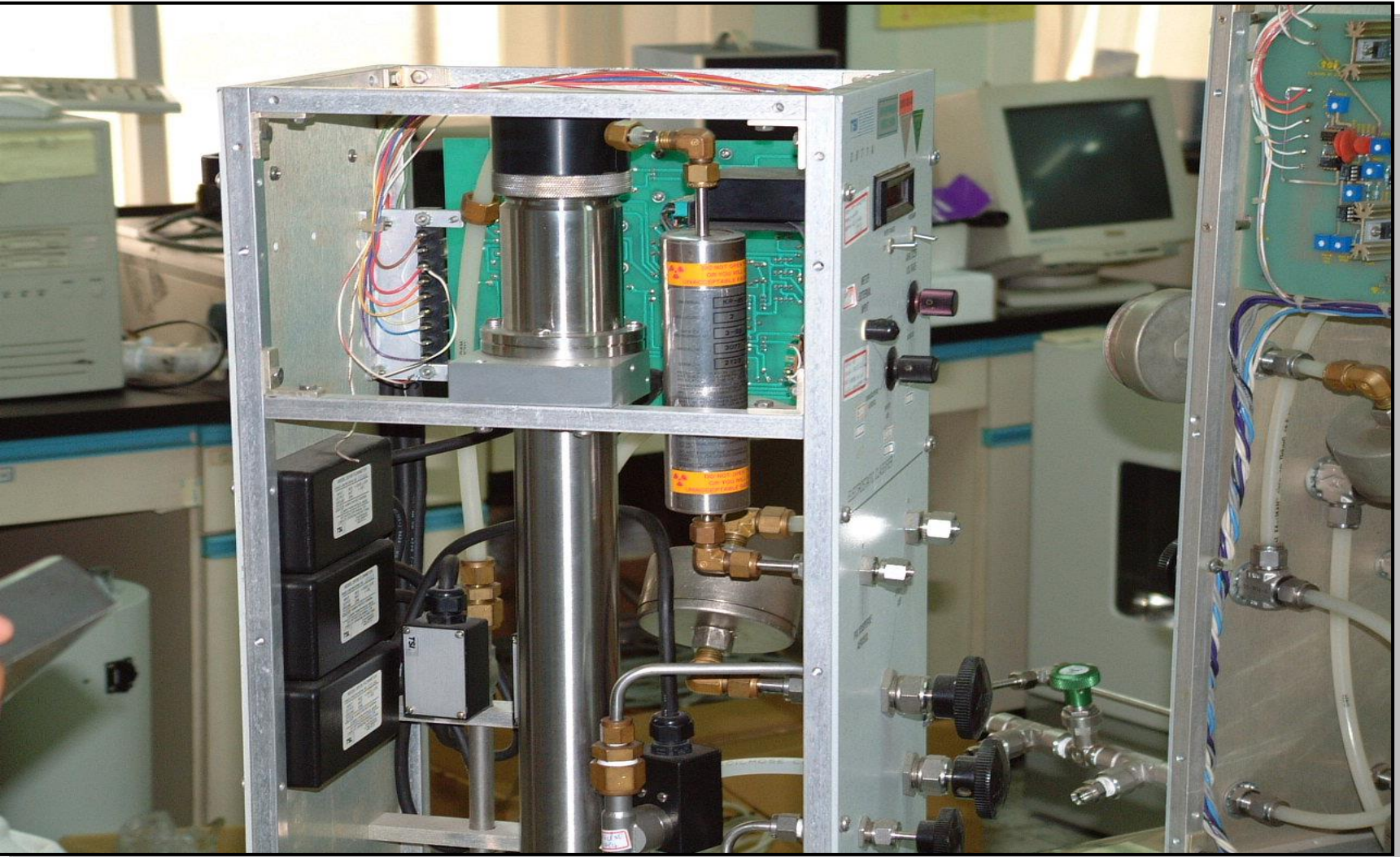
桃園機場配置



教學研究射源使用概況

單位	密封射源
物理系	1.Na-22 10mCi x 1 2.Co-57 25mCi x 1
化學系	1.Ni-63 15mCi x 4 2.Ni-63 10mCi x 1
鹿林山實驗室	1.Ni-63 15mCi x 1
新屋濱海測站	1.Ni-63 15mCi x 1
環工所	1.Ni-63 15mCi x 6 2.Kr-85 2mCi x 2
生科系	1.Cs-137 30 μ Ci x 1
地科系	1.Cs-137 100mCi

環工所 Kr-85



氣相層析儀 Ni-63



Cs-137

APPLICATIONS

Minerals

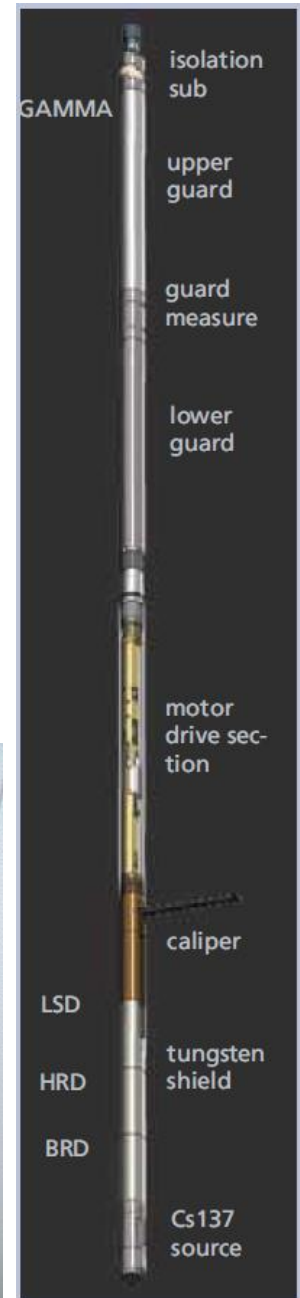
- Lithology
- Density and porosity
- Correlation with other logs
- Bed thickness and boundary location
- Ash content in coal
- Indication of fractures and permeable zones
- Moisture determination in coal

Engineering

- Rock strength and elasticity parameters (with sonic log)
- Detection of weathered or fractured zones
- Ground compaction studies

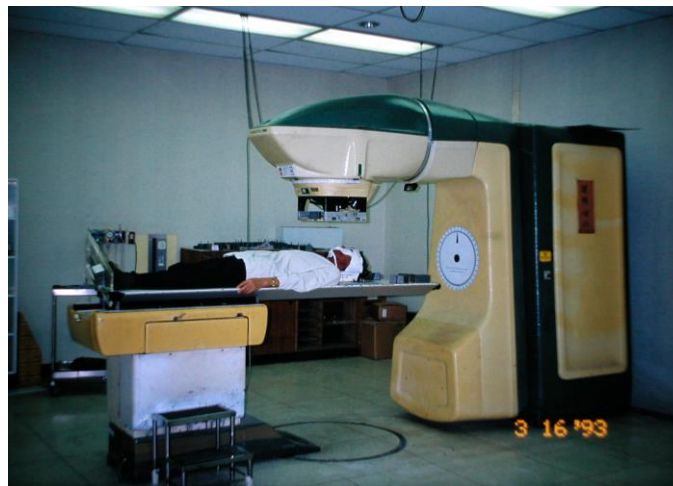
Water

- Location of aquifer and aquitard
- Porosity measurement
- Detection of cavities and missing cement

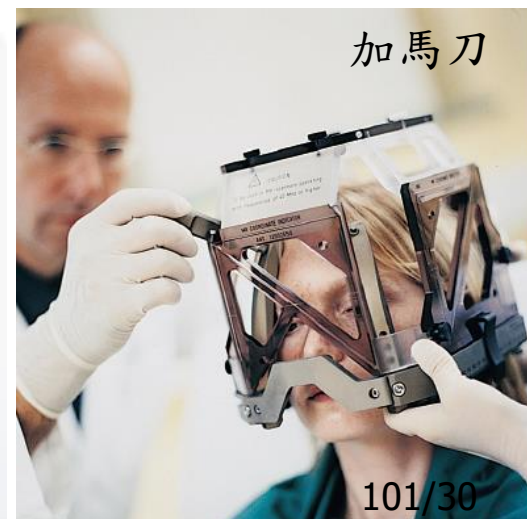
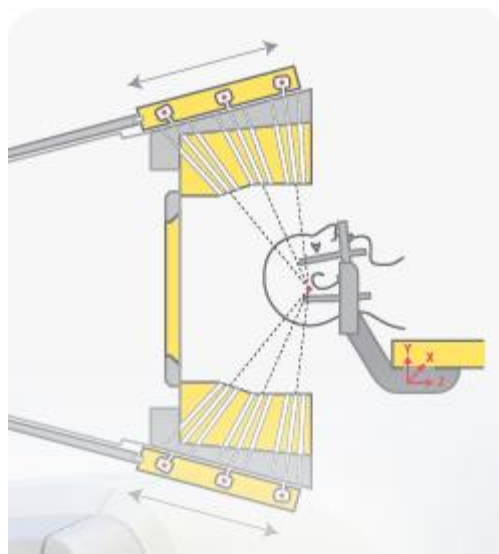


醫療院所常見之密封型射源

鈷六十治療機
加馬刀
血液照射儀
近接治療
校正用射源



鈷六十治療機

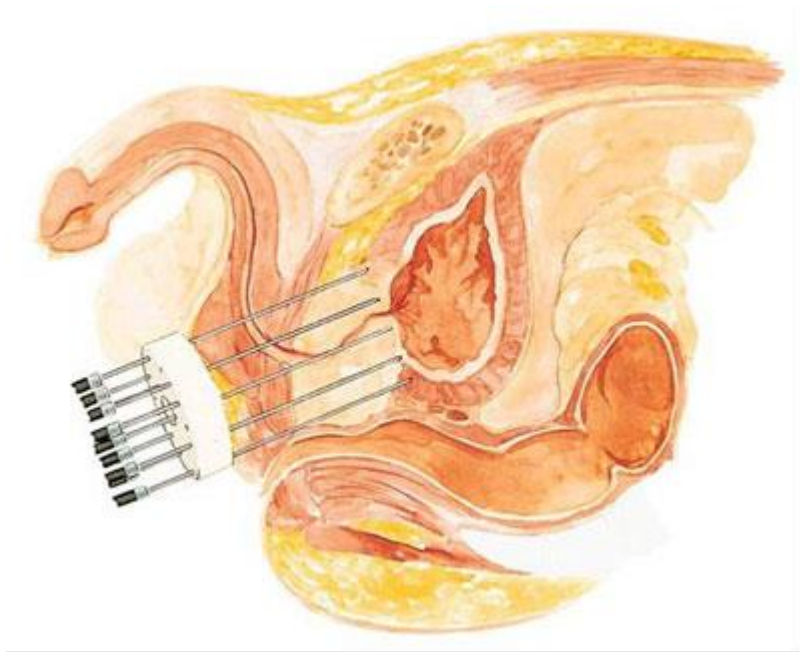


加馬刀

血液照射儀 (^{137}Cs)

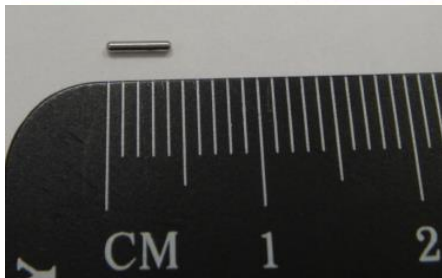
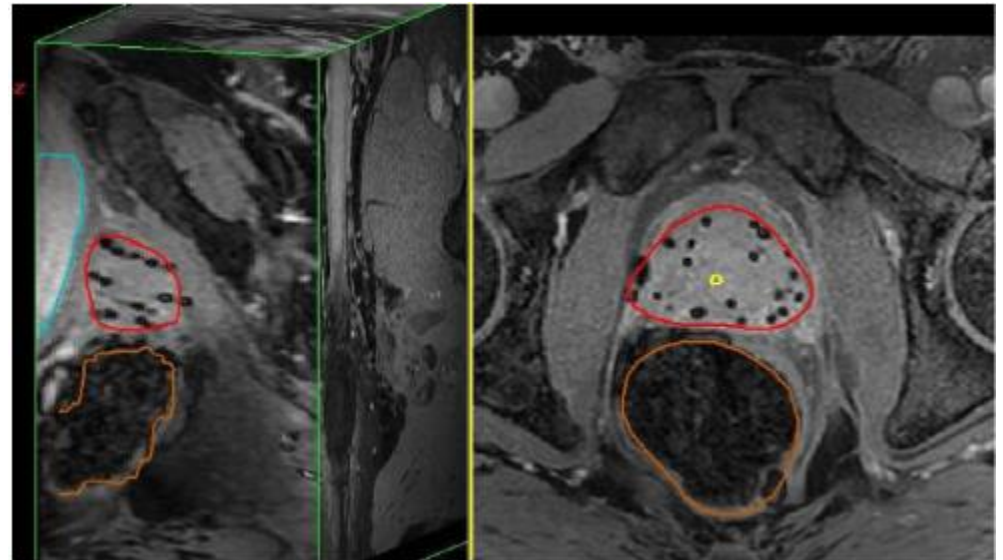
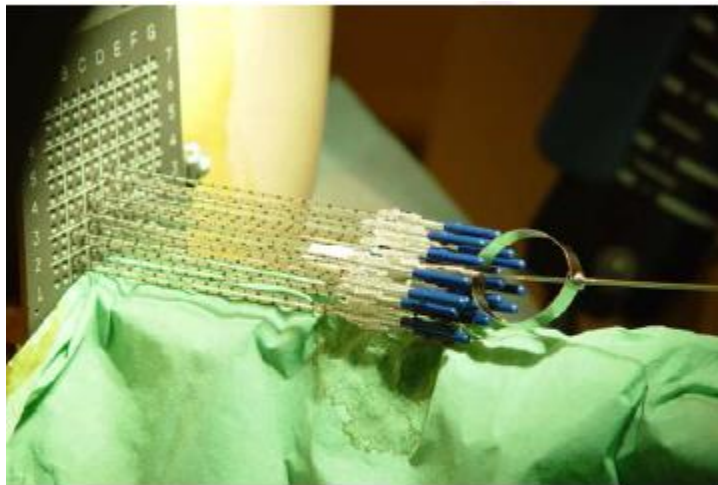


HDR近接治療儀 (Ir-192)



HIGH DOSE RATE (HDR) BRACHYTHERAPY

LDR近接治療 (I-125)

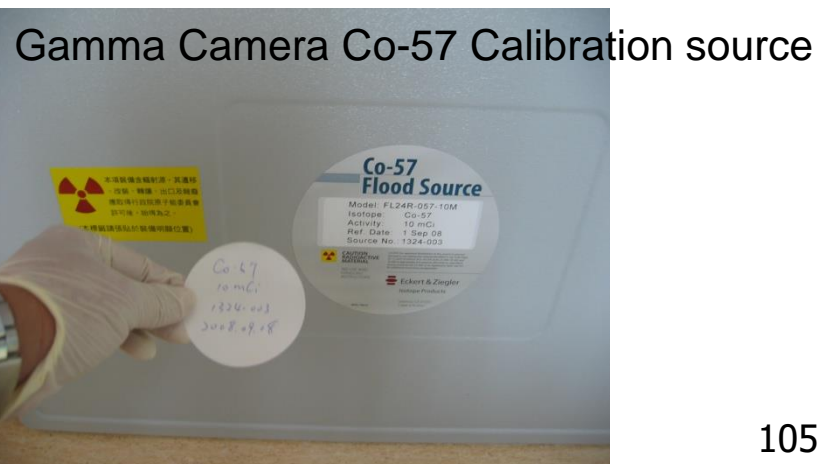


Nucletron
Improving patient care

LOW DOSE RATE (LDR) BRACHYTHERAPY

核醫密封校正射源

PET/CT Scanner Ge-68 Calibration source



ISOTOPE PRODUCTS LABORATORIES
Co-57
1.084 μ Ci
711-1-3
15 Feb 00
RADIOACTIVE MATERIAL

Ba-133
0.925 μ Ci
ISOTOPE PRODUCTS
LABORATORIES
173-10-6
1-1-87

ISOTOPE PRODUCTS LABORATORIES
Mn-54
1.005 μ Ci
711-1-2
15 Feb 00
RADIOACTIVE MATERIAL

ISOTOPE PRODUCTS LABORATORIES
Cs-137
0.9850 μ Ci
488-39-14
15 Feb 00
RADIOACTIVE MATERIAL

校正/測試用射源

ISOTOPE PRODUCTS LABORATORIES
Cd-109
1.015 μ Ci
711-1-5
15 Feb 00
RADIOACTIVE MATERIAL

ISOTOPE PRODUCTS LABORATORIES
Co-60
1.039 μ Ci
711-1-4
15 Feb 00
RADIOACTIVE MATERIAL

ISOTOPE PRODUCTS LABORATORIES
Na-22
1.029 μ Ci
711-1-1
15 Feb 00
RADIOACTIVE MATERIAL

ISOTOPE PRODUCTS LABORATORIES
Ba-133
1.024 μ Ci
614-86-3
15 Feb 00
RADIOACTIVE MATERIAL

肆.射源的輻射防護

- 輻射防護原則與目的
- 體外曝露的輻射防護基本原則
- 密封射源的輻射防護



IAEA 新游離輻射警示輔助標誌
107/30

輻射防護的原則

- 為了防止輻射確定效應的發生，同時也要抑低機率效應的發生率到社會能接納的程度，所以從事輻射作業必須符合以下三原則：
 - 正當化: 利用輻射所獲得的效益必須超過它的代價。
 - 最適化: 在考慮到經濟與社會因素之後，一切輻射曝露必須保持合理抑低。
 - 劑量限制: 輻射作業人員與一般民眾接受輻射劑量均不得超過法規的限制。

輻射防護的目的

目的	組織器官	劑量限度 (毫西弗/年)	
		輻射工作人員	一般民眾
抑低機率效應至可接受水平	全身	50 (100 mSv/5年)	1
防止確定效應發生	個別組織或器官	500	50
	眼球水晶體	150	15

美俄科學家：火星生物早就到了地球了

【2006/12/21】

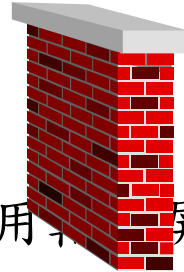
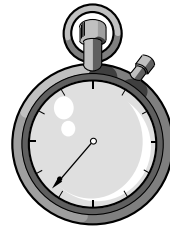
- 美國和俄國科學家說，火星生物早就到了地球了。他們表示，火星上的細菌跟著從火星上爆出來的隕石抵達地球。這些科學家說，一九五零年代美國俄勒岡州出現了一批**完全不受輻射線影響的生物**。地球上的生物都會受輻射影響。他們認為，**對輻射免疫的生物**應該是火星來的，因為火星原來就沒有阻擋輻射的能力。



體外曝露的輻射防護基本原則

- 體外輻射防護的基本原則是指TSD原則

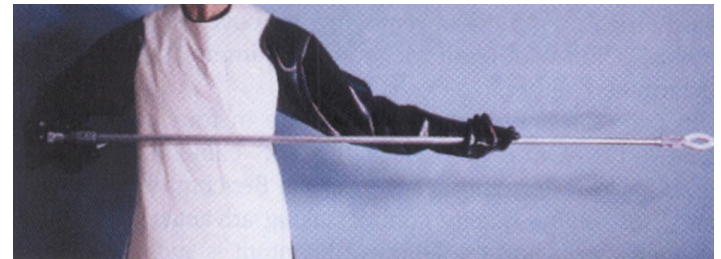
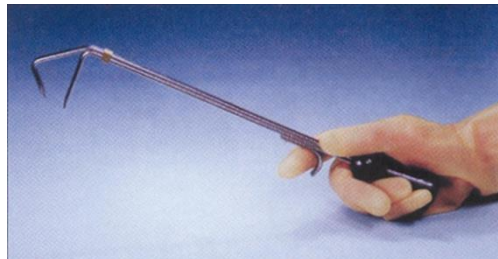
- T: Time(時間)
- S: Shielding(屏蔽)
- D: Distance(距離)
- D: Decay(衰減)



- TSD原則是儘量減少體外曝露時間, 使用屏蔽增加射源距離

體外輻射的防護

- 最簡單有效的體外輻射防護方法是距離
 - 如：使用長柄鉗取用射源
 - 原因：輻射強度與距離平方成反比
- 為使工作人員降低曝露時間，熟悉工作流程，常受訓練亦可降低曝露時間
- 屏蔽的設計使用，亦可將曝露劑量降至法規許可值



密封射源的輻射防護

基本觀念:

- 使用密封射源，須嚴守使用規定，絕對禁止在超出規定的條件下運作(如溫度、壓力、機械振動、磨損狀況等)，也須定期安全檢查，降低密封容器破損的機會。
- 使用射源之前，須了解射源的物理特性、安全性能和密封結構，依規定做好輻防準備工作及操作人員之職前訓練，才能減少輻射曝露的意外事故發生。

密封射源的輻射防護特點

- 防止人員接受過量的體外曝露，並防止射源遺失或密封的性能遭受破壞，造成不必要的輻射曝露或污染，甚至攝入體內，造成體內曝露。
- 射源均須管制，並要向原子能委員會申請登記及申請使用執照，操作人員須接受射源操作和輻射防護的訓練。
- 低活度密封射源造成體外劑量不大，不須固定的屏蔽。通常可在無特殊保護情況下使用，但是要預防遺失。
- 高活度射源常固定於設施內使用，有固定屏蔽及防護措施，不易遺失。（保安措施）
- 非破壞檢驗所用射源的活度高且可攜帶，因為工作性質或疏忽緣故，射源遺失機會很大。

密封射源輻射安全法規要求

1. 使用及申請登記備查
2. 密封放射性物質的輻射檢測

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(2012.1.16修正)

- 第十六條 使用下列放射性物質者，應向主管機關申請登記備查：
 - 一、附表一所列第四類及第五類密封放射性物質者。
 - 二、放射性物質在儀器或製品內形成一組件，其活度為豁免管制量一千倍以下，在正常使用狀況下，其可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗以下者。
 - 三、前二款以外之放射性物質活度為豁免管制量一百倍以下者。
 - 四、其他經主管機關指定者。
- 使用前項規定以外之放射性物質者，應向主管機關申請許可證。

申請登記備查

• 第二十三條

使用應申請登記備查之密封放射性物質者，申請人應於申請輸入或轉讓時，填具申請書並檢附下列文件，向主管機關申請審查。其需安裝者，審查合格後發給安裝許可；無需安裝者，應於主管機關發給輸入或轉讓許可後，檢附第二項文件，送主管機關審查合格後，同意登記：

- 一、經核准設立或登記之證明文件影本。政府機關（構）免附。
- 二、相關操作人員證明文件影本及在職證明。
- 三、場所平面圖及屏蔽規劃。無需安裝或符合第十六條第二款者得免附屏蔽規劃。
- 四、輻射防護計畫。

申請登記備查(續)

- 前項申請人取得安裝許可後，始得依核准之場所平面圖及屏蔽規劃進行**安裝工程**。工程完竣後三十日內，應檢附下列文件，送主管機關審查合格後，同意登記：
 - 一、放射性物質原始證明文件影本。
 - 二、**測試報告**。
 - 三、符合第五十四條第一項規定之密封放射性物質者，應提送擦拭報告。

遷移新址或變更作業場所

- 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。

密封放射性物質年度偵測

- 儀器裝備或屏蔽容器外四週之輻射劑量（率）。
- 安全連鎖功能測試。
- 密封放射性物質擦拭測試。
- 管制區、監測區四週之輻射劑量（率）。

「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」

密封放射性物質的輻射檢測

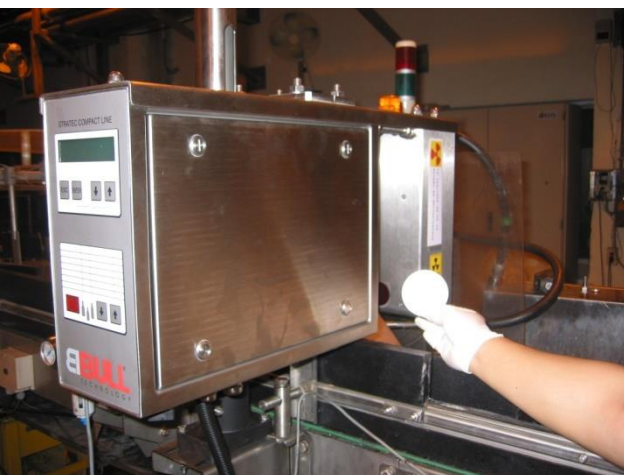
- 輻射劑量偵測(射源四週、管制區、監測區)
- 密封放射性物質(設備)擦拭測試(活度測量)
 - 半化期大於30天貝他核種
 - 加馬核種之活度大於3.7MBq
 - 阿伐核種之活度大於370kBq
 - 用於醫療者，每半年執行一次
 - 其他用途者，每年執行一次
 - 毒氣偵檢器用²⁴¹Am，每3年執行一次
 - 鐳射源的擦拭，應包含氡氣(Rn)洩漏測試
 - 上述射源擦拭測試結果，活度大於**185Bq**，應立即停止使用，並於7日內向主管機關申報
 - 氬-85氣態密封射源或液態閃爍計數器中供校正用密封放射性物質，可免擦拭測試

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五十四條

密封放射性物質擦拭測試及 屏蔽容器外四週之輻射劑量（率）

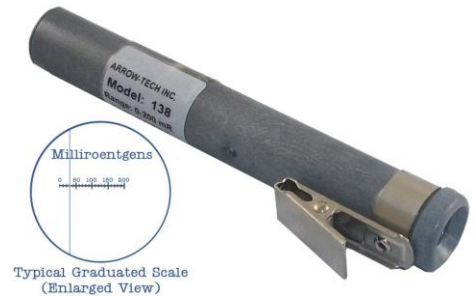


密封放射性物質擦拭測試及 屏蔽容器外四週之輻射劑量（率）



輻射防護器材

輻射防護器材



行李檢查X光機

影像品質測試方法

- 歐盟標準STP (Standard Test Piece): 使用五個標準測試物件：依據歐盟指令781/2005號，影像品質控制
- 測試物包含五種物件：
 - 銅線, 包含各種不同厚度;
 - 銅濾片, 呈梯度排列有不同層次;
 - 不同厚度不鏽鋼板;
 - 不同厚度之鉛板;
 - 糖與塩各乙種。
- 美國標準(ASTM F792.08) 對行李檢查X光機之成像影像測試標準

STP

TEST 1

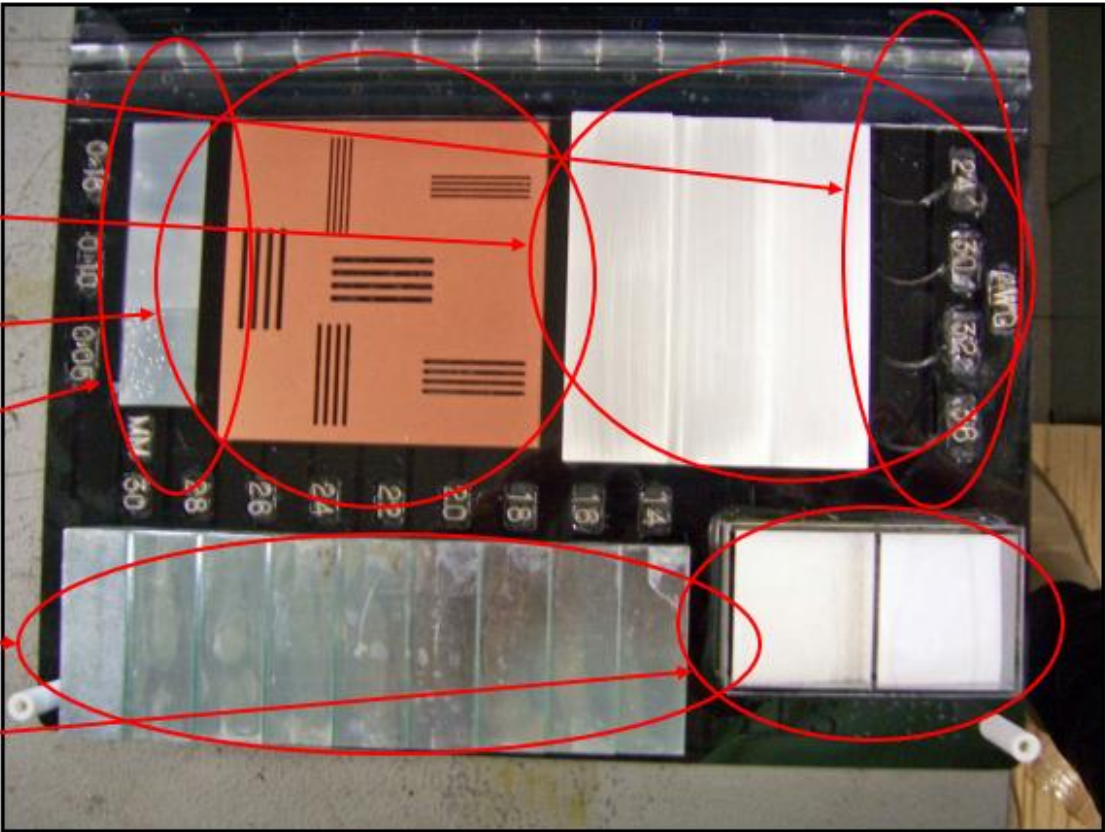
TEST 2

TEST 3

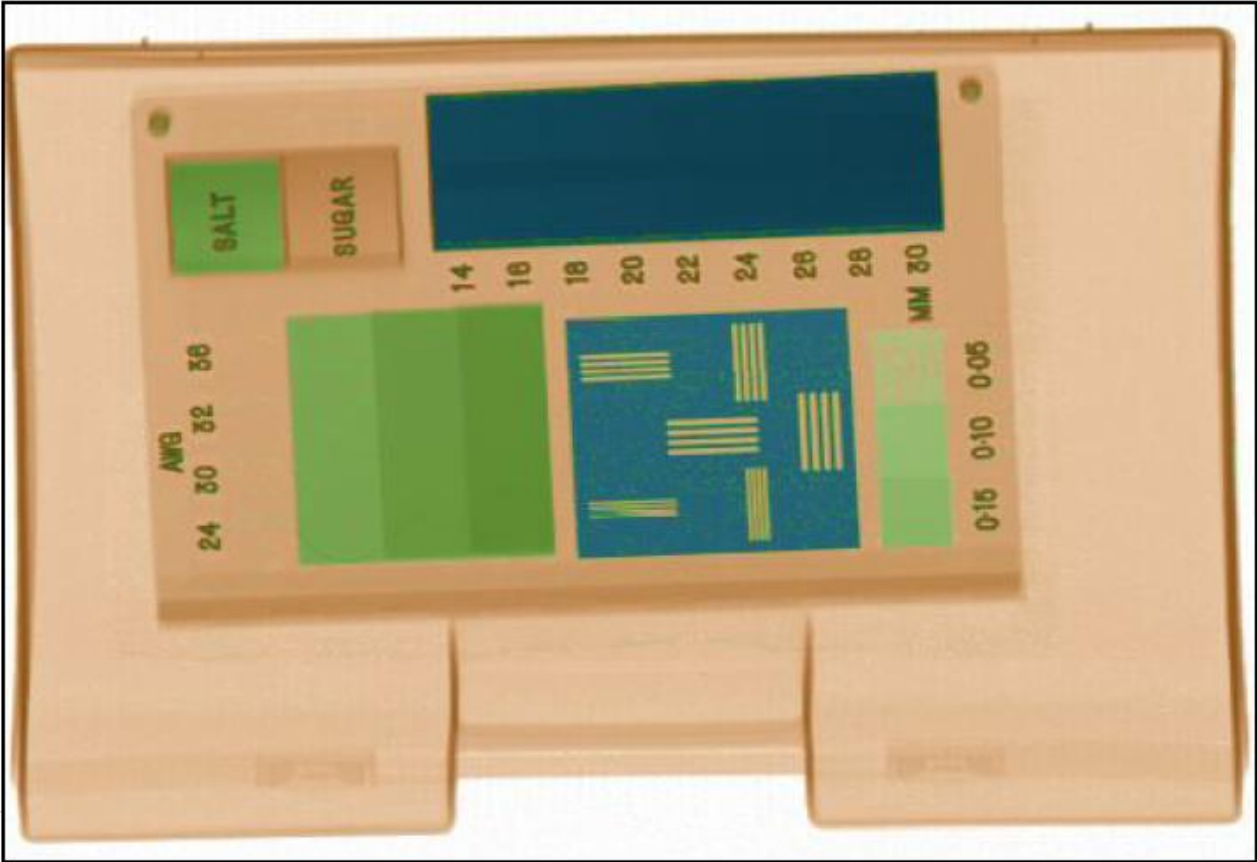
TEST 4a

TEST 4b

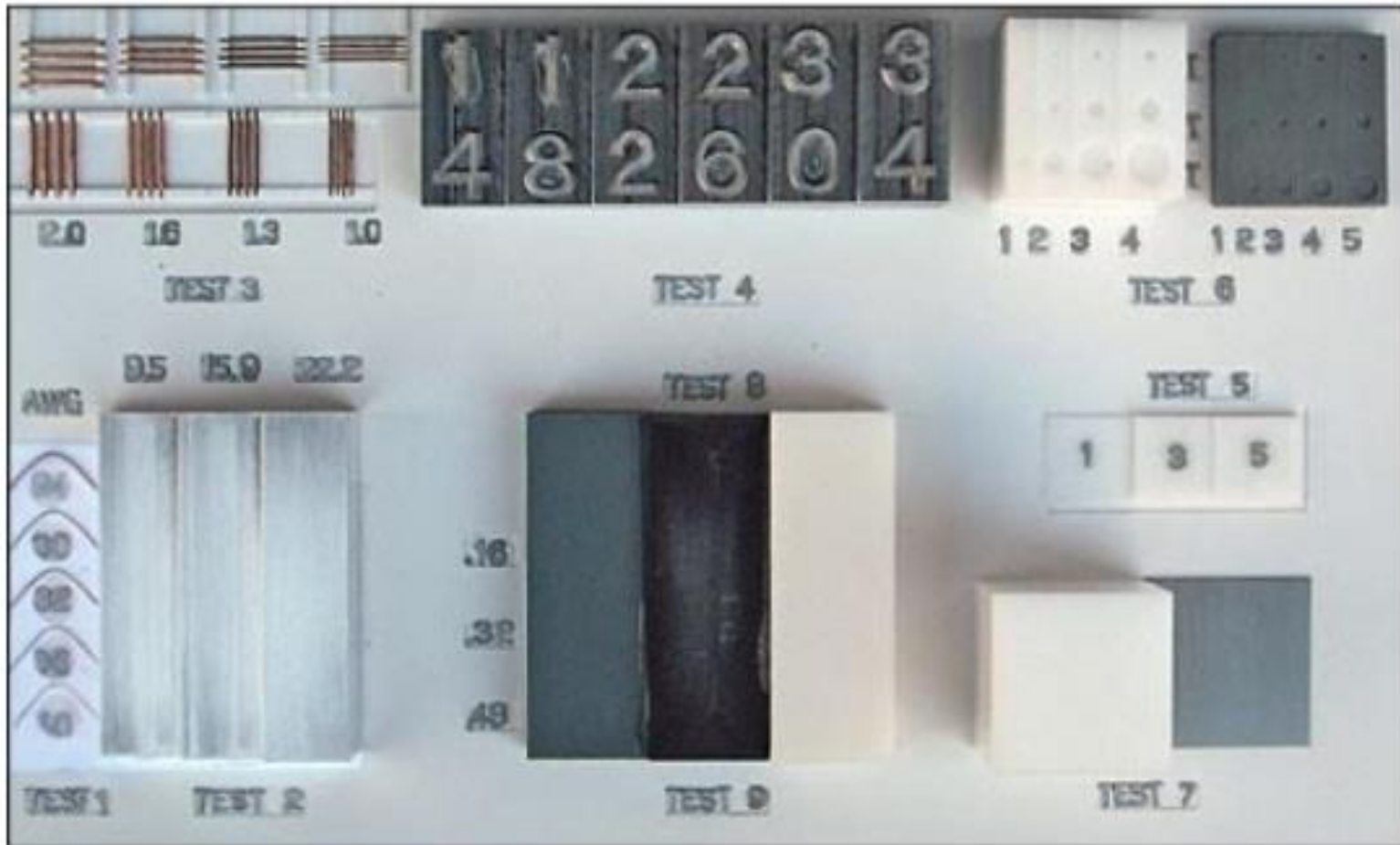
TEST 5



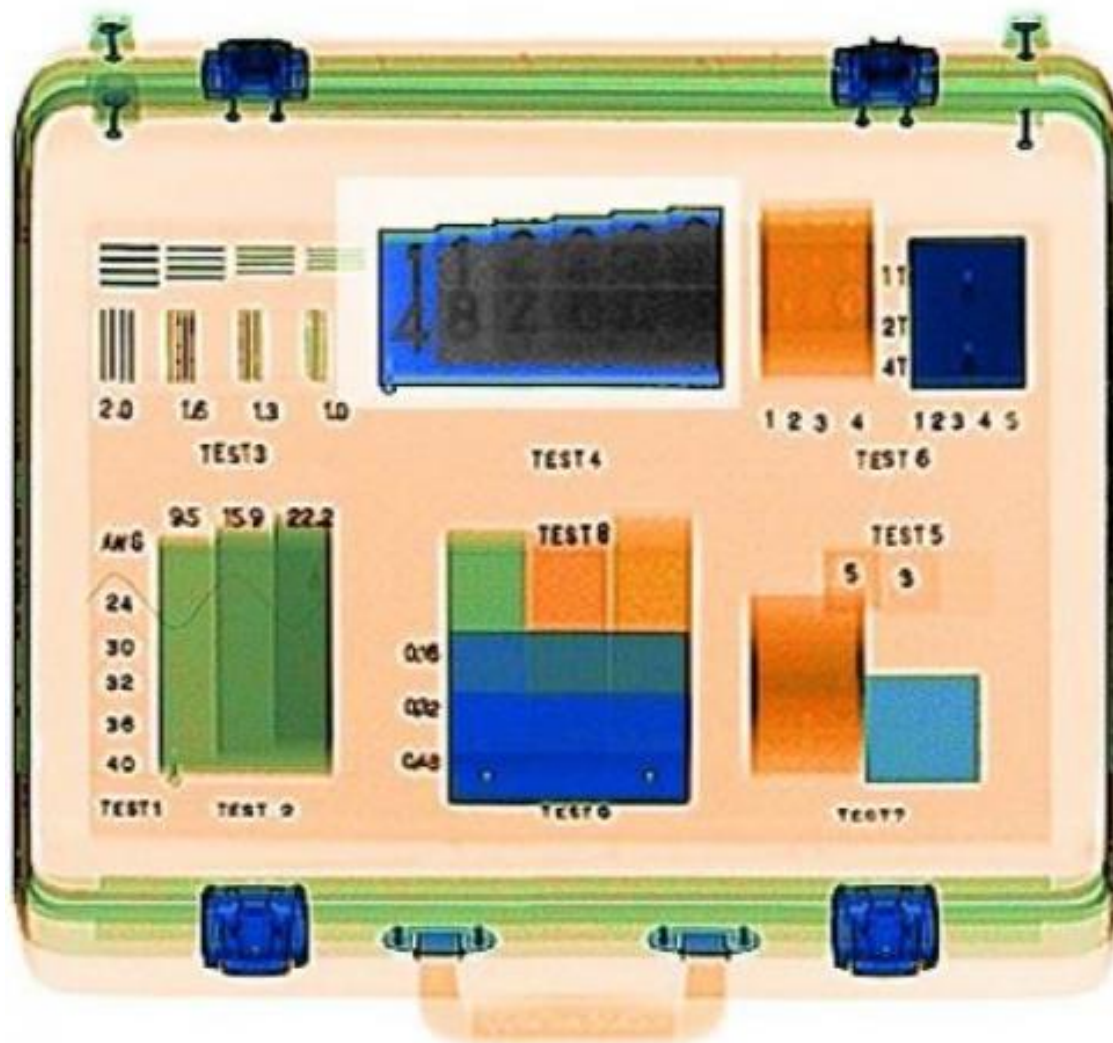
STP



ASTM F792.08

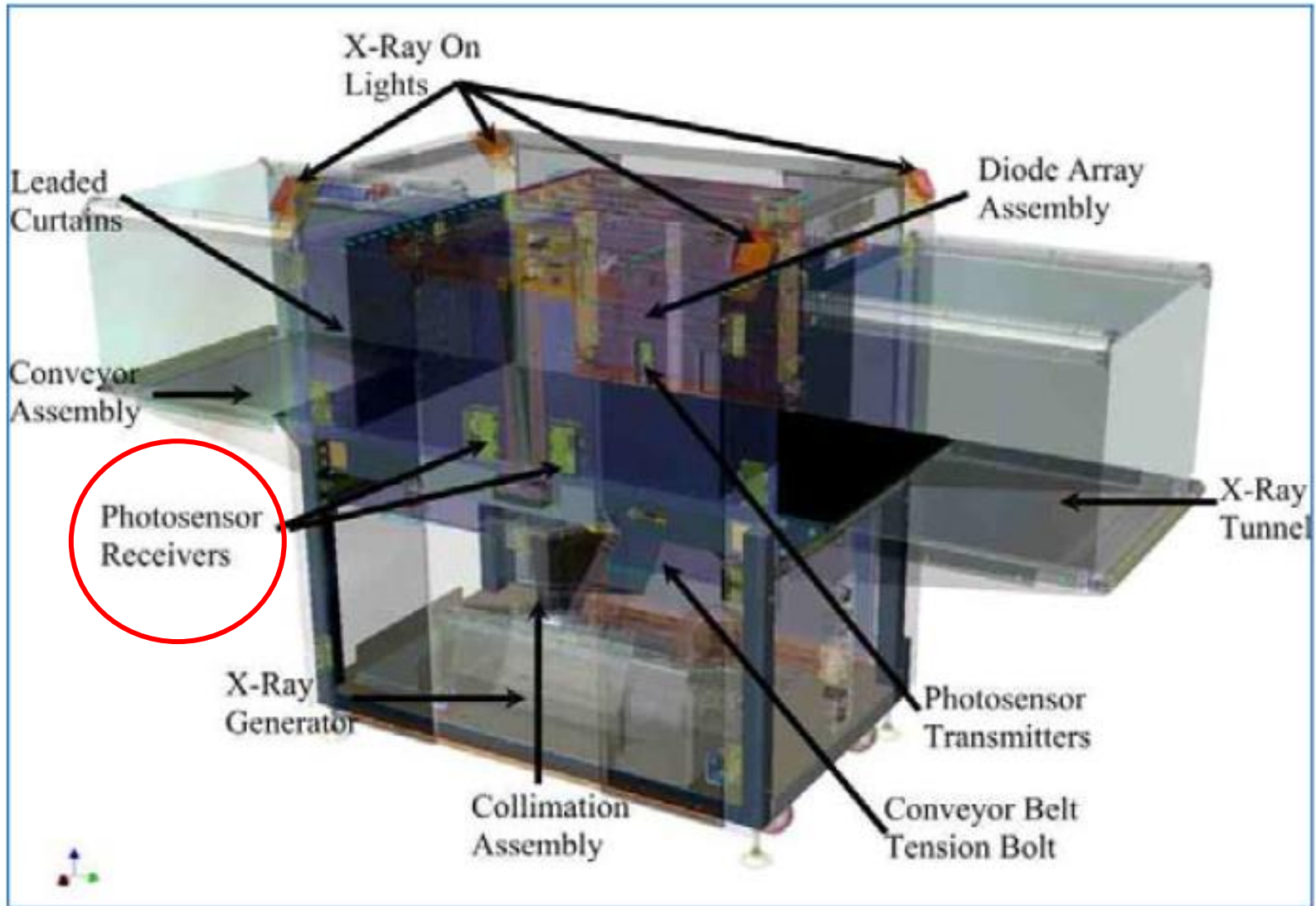


ASTM F792.08

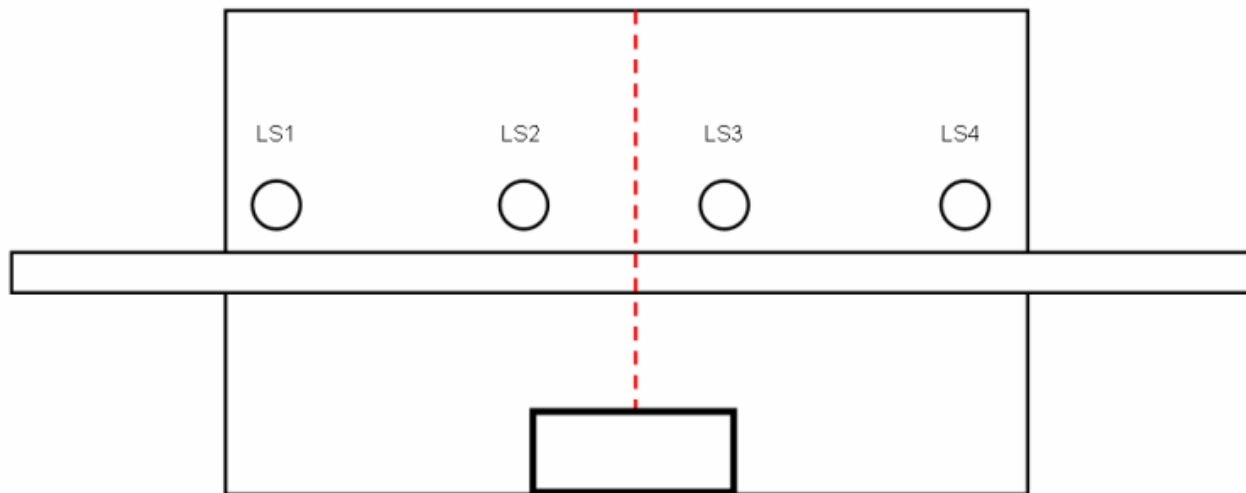


RAPISCAN 6xx XR





掃描過程



輸送帶把行李帶進孔道內觸動光電開關(Photosensor 1, PS1 即LS1位置)此時設備會啟動X光。當行李到達(Photosensor 2, PS2即LS2位置)時系統開始擷取影像。
當行李已通行過PS2時，系統完成擷取影像並產生影像檔案。並關閉X光。

開機前檢查

- 檢查螢幕電源開關已啟動

Check that the power switch is activated on the monitor.

- 檢查控制板已鎖好並關閉

Check that all service panels are closed and locked.

- 確認鉛簾沒有扭轉或缺少

Check that no lead curtains are torn or missing.

- 檢查所有緊急開關釋放狀態並壓下

Check that all emergency switches are in their released or out position.

- 確認孔道內沒有任何物件

Check that there are no objects in the inspection tunnel.

- 確認總電源開關在On位置

Check that the circuit breaker switch is set to the on position.

每週保養

- 外觀檢查

確認輸送帶及鉛簾無任何缺損，控制板無任何不正常或損壞。

- 清潔

使用濕的無絨布（如有必要，可使用肥皂水）擦拭輸送帶和螢幕顯示器外殼表面，再用乾的無絨乾布擦乾清潔。

螢幕擦拭，用防靜電噴霧劑擦拭清潔防止灰塵。

季保養

- 清潔

使用濕的無絨布（如有必要，可使用肥皂水）擦拭系統外殼表面。將所有清潔過的表面用無絨布擦乾，

- 鉛簾外觀

目視檢查入口和出口處的鉛幕及檢查孔道是否損壞，更換發現損壞的鉛簾。

- 皮帶及滾筒檢查

目視檢查輸送帶是否有破損和孔洞，目視檢查無動力輸送機的滾筒是否有損壞。可適當維護性上油保養。

- 檢查輸送帶偏差

啟動輸送帶前進及後退，分別檢查離中心點是否偏差在**2公分**以內。

- 輻射安全檢查

平均每小時劑量率應在**2.5microSivert**以內

故障排除

- ‘Bad signals or X-Ray is blocked. Press R to ignore or S/Q to clear the tunnel’

通常是檢查孔道內有物品，導致X光輸出偵測不到正常。可按輸送帶前進或後退清除檢查孔道。

- ‘Interlock Violation’

檢查外蓋是否未蓋緊，外蓋上有開關是否跳開。檢查PL4是否正確接在連鎖開關電路板上。

- ‘Inverter Fault’

檢查輸送帶訊號線連接J21或電源線是否正確接到介面板SK5

- ‘X-Ray Control Fault’

檢查X光機訊號線連接J16或電源線是否正確接到介面板SK3

系統無法啟動

- 檢查鑰匙位置是否正確
- 檢查電纜線是否連接
- 檢查電源保險線(FS1)
- 檢查緊急開關是否誤壓
- 控制板電纜線是否連接正確
- 檢查機箱上的12V電源供應器是否啟動
- 檢查輸入電壓選擇是否正確

X光無法啟動

- 檢查電源保險線(FS7)
- 檢查X光供電保險絲(FS1及FS2)是否正確
- 連鎖及微電開關未啟動(機殼外蓋及訊號箱蓋)

輸送帶無法啟動

- 檢查電源保險線(FS3)
- 有時可能只是輸送帶運轉馬達過熱，冷卻降溫後即會恢復正常。

影像品質差

- 調整Collimator
- 無影像時則啟動SERVICE2權限進入系統，確認光電二極體板陣列是否有訊號。檢查電源線及訊號線。

物品檢查後影像未停在螢幕上

- 檢查光電感測器，可能髒污或損壞。導致X光持續動作及掃描。

X光未啟動/或持續啟動

- 檢查PS1/或PS4開關是否無訊號，或持續產生訊號。開關如果損壞或髒污可能導致即使物品離開孔道X光仍然持續動作。