

中國文化大學115學年度 輻射安全防護教育訓練

X光機原理 輻射安全與防護

量子輻射科技有限公司 總經理

陳皇龍

輻專高字第59號, 輻射防護師字第0484號

grt.service@msa.hinet.net
alvin.chen@radiation.com.tw

日期 :2026.06.16

講師簡介



■ 學歷：

- 私立中原大學醫學工程學士(1991)
- 國立陽明交通大學醫學工程碩士(1993)
- 國立清華大學工程與系統科學研究所博士候選人(2002-2011)
- 國立政治大學高階經營管理碩士EMBA(2020-2023)

■ 經歷：

- 友信行公司:醫用直線加速器維修工程師(SIEMENS、Philips)
- :放射治療產品(Lantis/RTPS)應用專員、技術主任(1995-2005)
- 費曼科技公司:輻射防護部 經理、訓練班講師(2005-2011)
- 部定講師:中醫大、長庚、中台科技大學、元培科技大學兼任講師
- Microsoft MCSE / PMI-PMP / PMI-PBA(網路系統工程師/專案管理師/商業分析師)
- 核安會認可中級(1997)、高級輻射防護人員(2002)、輻射防護師(2003-)
- 三軍總醫院、高雄阮綜合醫院、林口長庚醫院(2)、台灣新吉美碩(2)、普瑞默生技公司 迴旋加速器輻防規劃設計
- 林口長庚/高雄長庚/台大癌醫/中國醫大/台中榮總質子治療中心、北榮重粒子治療中心輻防規劃設計、三軍總醫院質子治療中心專案管理

核能安全委員會 輻射防護服務業認可證

中華民國 105 年 09 月 09 日

53426722

輻射防護服務業證書
幅訓字第00017號

認可類別：輻射防護訓練業務認可證
機構名稱：量子輻射科技有限公司

機構地址：新北市新店區北新路三段65巷34弄2號1樓

負責人：陳皇龍 班主任：歐恩楚

認可項目：
一、放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員之輻射防護訓練
二、游離輻射防護法第十四條第四項規定之教育訓練
以下空白

頒證依據：依游離輻射防護法第二十六條之規定發給證書
生效日期：105年10月05日
有效期限：110年10月04日
附註：無

主任委員 謝曉星

中華民國105年09月09日

中華民國 105 年 08 月 28 日

53426722

輻射防護服務業證書
幅銷字第00372號
第1頁，共2頁

認可類別：放射性物質或可發生游離輻射設備銷售服務業
機構名稱：量子輻射科技有限公司

機構地址：新北市新店區北新路三段65巷34弄2號1樓

負責人：陳皇龍

認可項目：
一、銷售醫療用途放射性物質(許可類、登記類)
二、銷售非醫療用途放射性物質(許可類、登記類)
三、銷售醫療用途可發生游離輻射設備(許可類、登記類)
四、銷售非醫療用途可發生游離輻射設備(許可類、登記類)
五、持有項目明細如附件
以下空白

頒證依據：依游離輻射防護法第二十六條之規定發給證書
原發照日期：100年08月29日
有效期限：115年08月28日
附註：無

行政院原子能委員會
主任委員 謝曉星

中華民國110年08月28日

中華民國 105 年 08 月 24 日

53426722

輻射防護偵測業務認可證
幅防偵字第000七五號

機構名稱：量子輻射科技有限公司

機構地址：新北市新店區北新路三段65巷34弄2號1樓

負責人：陳皇龍

認可項目：
一、可發生游離輻射設備、放射性物質及其工作場所之輻射防護偵測(醫用X光機、醫用線性加速器、醫用密封放射性物質、醫用非密封放射性物質、非醫用線性加速器、非醫用移動型X光機、動物用X光機、非醫用線性加速器、非醫用密封放射性物質、非醫用非密封放射性物質、放射性物質生產設施)
二、可發生游離輻射設備及放射性物質工作場所之輻射安全評估
三、放射性物質運送有關之輻射防護及偵測(盛裝供運送放射性物質所用包裝、包件之輻射防護及偵測、載運放射性物質所用運送工具之輻射防護及偵測)
以下空白

頒證依據：依游離輻射防護法第二十六條之規定發給證書
生效日期：105年10月17日
有效期限：110年10月16日

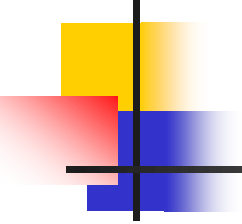
主任委員 謝曉星

中華民國 一〇五 年 八 月 二十四 日

放射性物質與可發生游離輻射設備銷售服務業務認可證

輻射防護訓練業務認可證

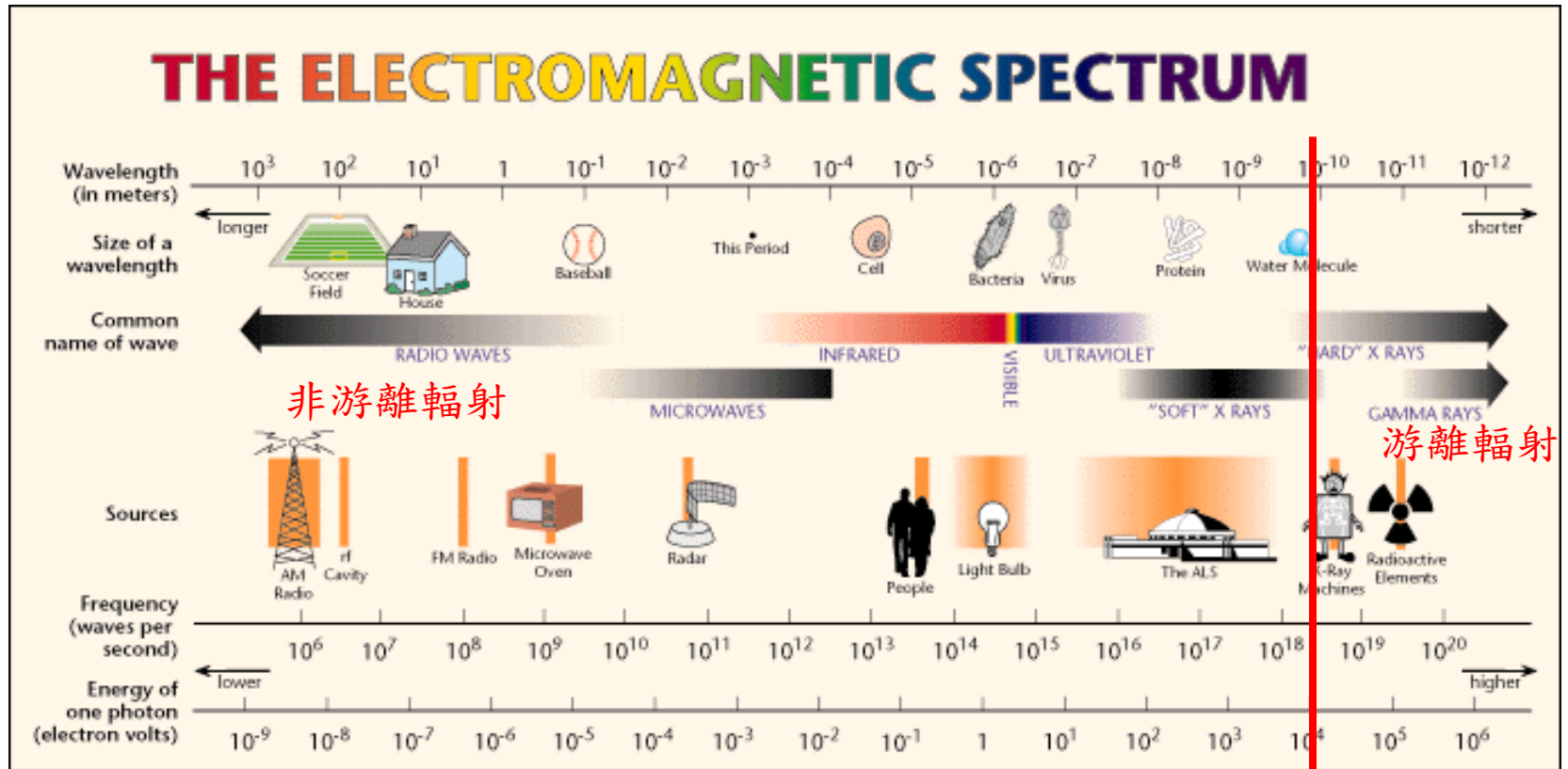
輻射防護偵測業務認可證



目錄

- 1.X射線-電磁游離輻射
- 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. X射線-電磁游離輻射



非游離輻射

游離輻射

NCC、DEP

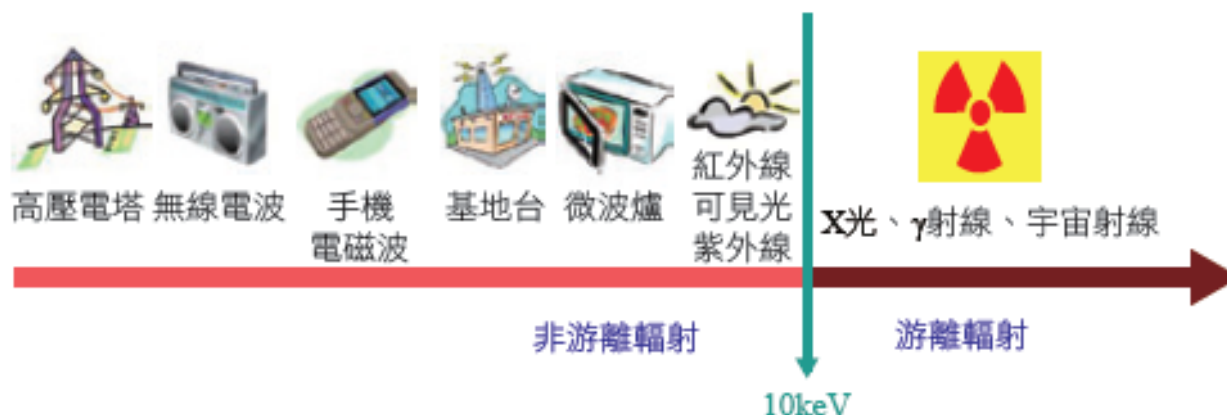
NSC

$$c = v\lambda, E = hv$$

wavelength from 10^7 (radio waves) to 10^{-13} m (ultrahigh energy x-rays)

Visual light : 4×10^{-7} m (blue light) $\sim 7 \times 10^{-7}$ m (red light)

名稱	非游離輻射	游離輻射
能量高低	小於 10keV，能量低 不會使物質發生游離現象	大於 10keV，能量高 可使物質產生正、負電荷 的游離現象
區分種類	電磁波、無線電波微波、 紅外線可見光、紫外線	α 粒子、 β 粒子 γ 射線、 X 射線中子
常見品項	手機、微波爐高壓電塔、 基地台	X 光機 放射性物質 (如鈷 -60、碘 -131)
主管機關	國家通訊傳播委員會 (基地台管理) 行政院環境保護署 (非游離輻射之管制) 經濟部標準檢驗局 (商品檢測)	核能安全委員會



2. X光機簡介與應用

X光的發現

1901年得到第一屆諾貝爾物理獎



倫琴於1895年發現
X射線(X光)
1895-11-08



世界第一張X光照片
(倫琴夫人X光照像)
1895-12-22

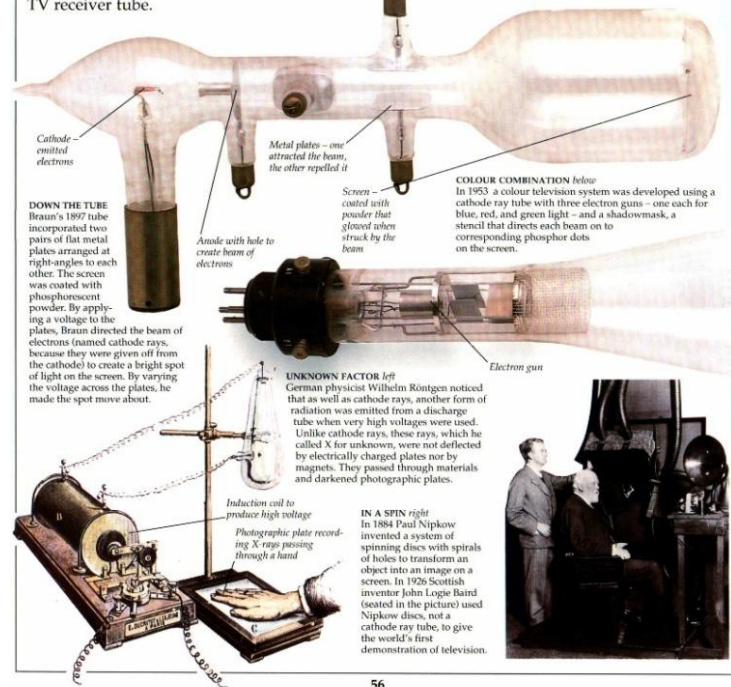
1887年

The cathode ray tube

In 1887, physicist William Crookes was investigating the properties of electricity. He used a glass tube containing two metal plates, the electrodes. When a high voltage was applied and the air pumped out of the tube, electricity passed between the electrodes and caused a glow in the tube. As the pressure fell (approaching a vacuum) the light went out, yet the glass itself glowed. Crookes called the rays which caused this Cathode Rays; they were, in fact, an invisible flow of electrons. Later Ferdinand Braun created a tube with an end wall coated with a substance that glowed when struck by cathode rays. This was the forerunner of the modern TV receiver tube.



Wilhelm Röntgen discovered X-rays using a similar tube to Crookes in 1895.



陰極射線管

李鴻章與X光



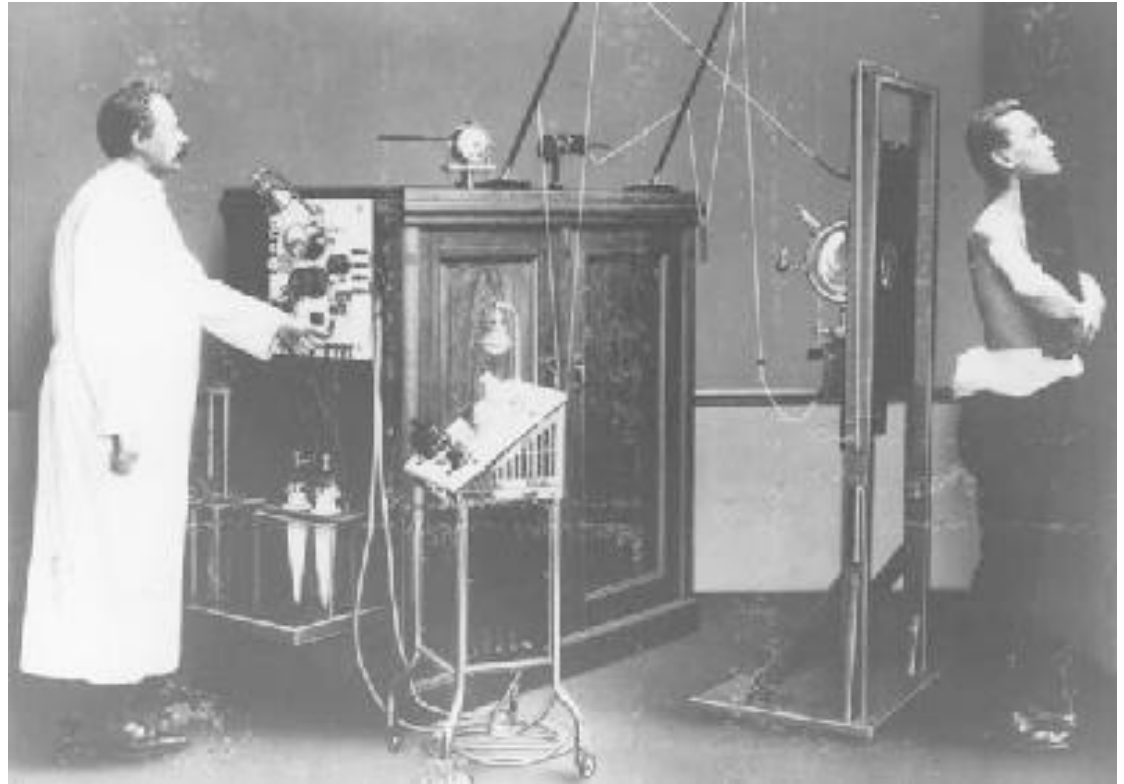
<http://www.qulishi.com/news/201410/19435.html>

照骨術 ”纖毫畢現 “凡衣服、血肉、木石諸質，盡化煙雲；所留存鏡中者，惟五金類及骨殖全副而已”。

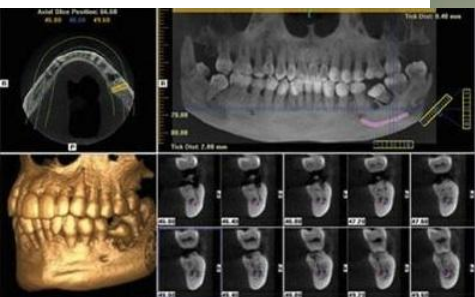
1897年，清朝《點石齋畫報》甚至以《**寶鏡新奇**》為題報導了X射線，稱其 “**照人肺腑，心腹腎腸昭然若揭**”。

二十世紀初期簡陋的X光攝影室

- 1895年底，倫琴發現X光，X代表未知，一夕之間成為名人
- 1896大家仿做他的實驗，X射線無所不在，「X射線自動販賣機」如雨後春筍出現在百貨公司、鞋店示範X射線實驗



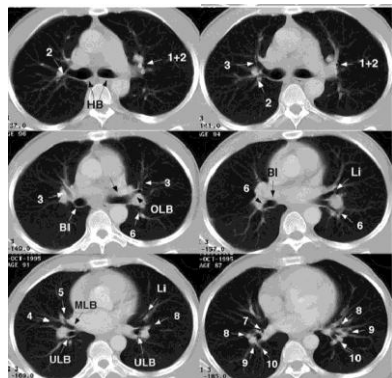
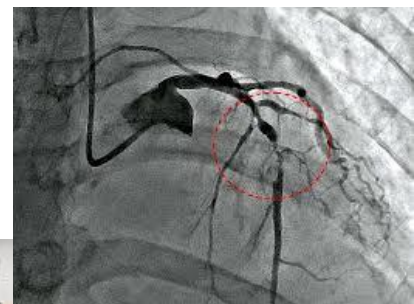
醫療或動物用X光機



牙科型X光機



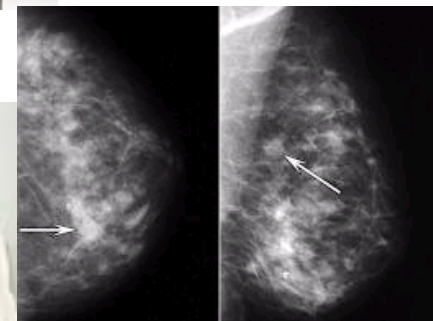
診斷型X光機



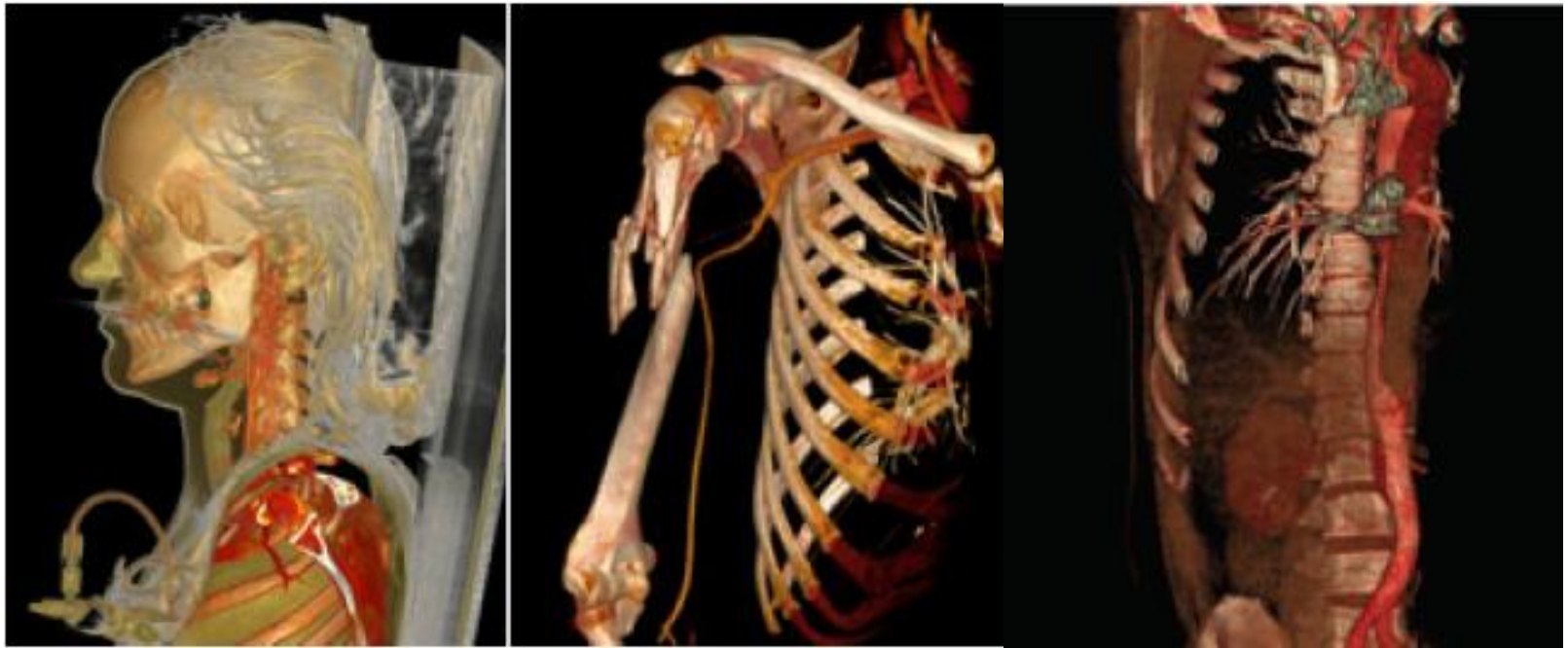
CT



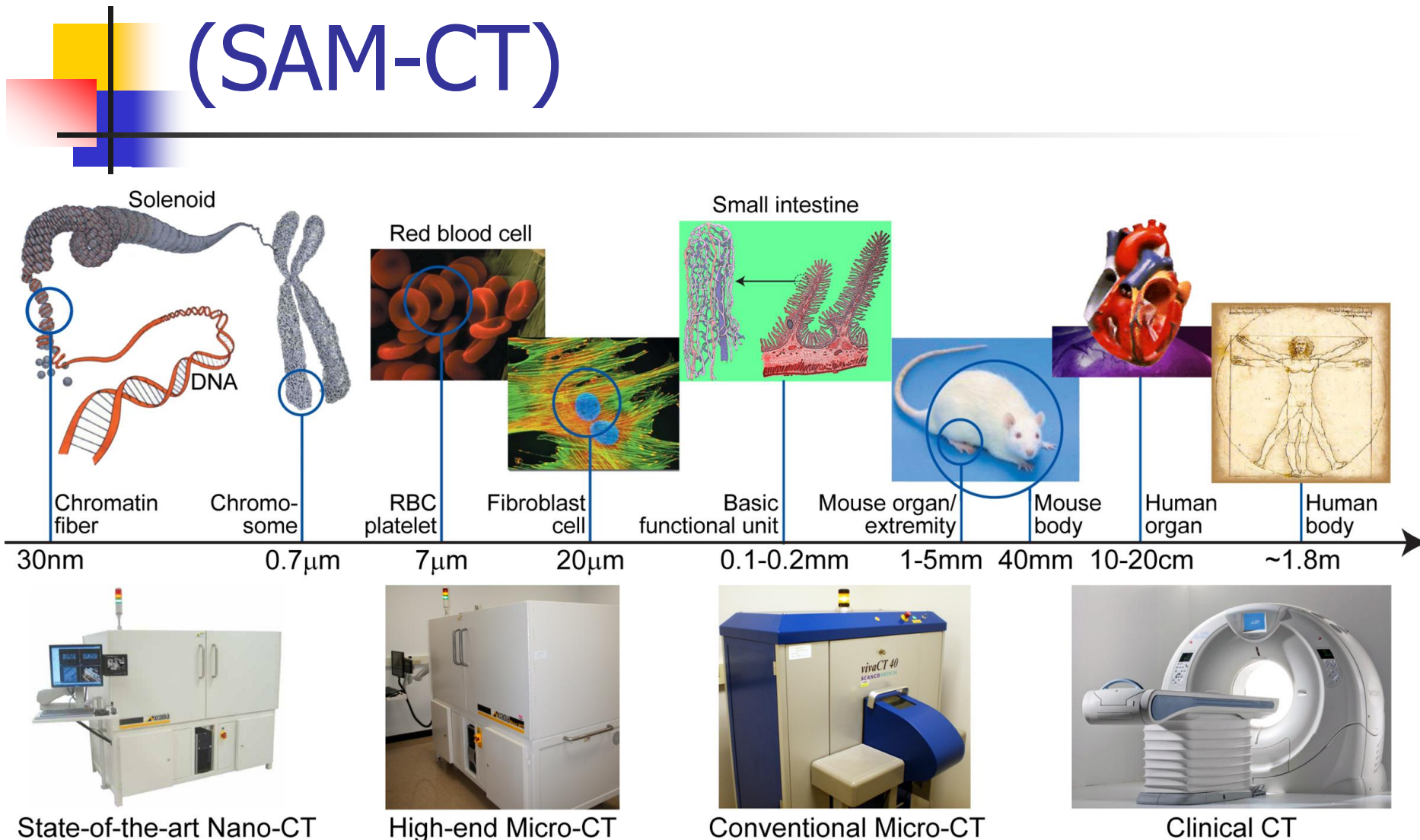
乳房攝影機



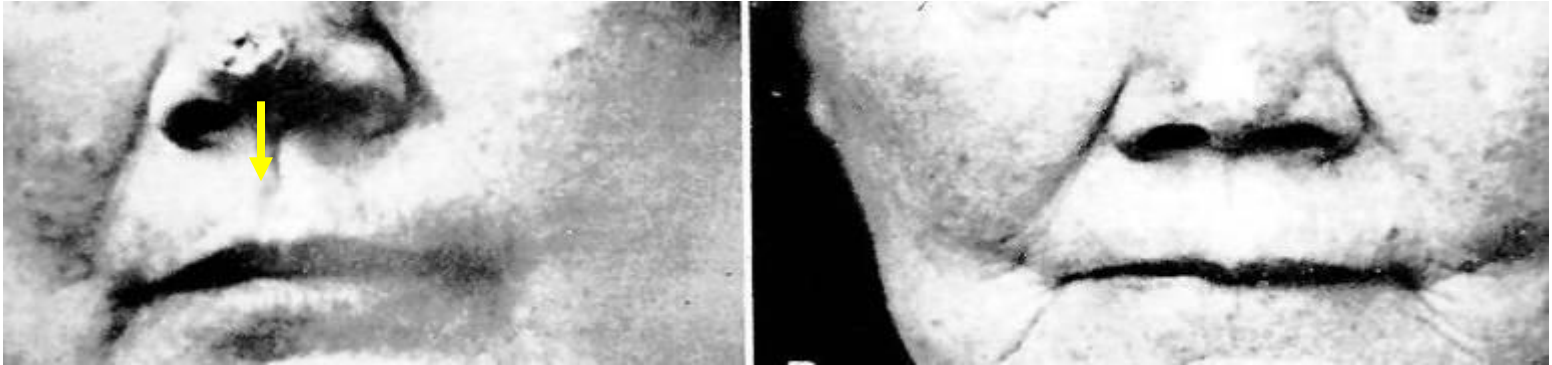
CT-3D 數位X光影像重建



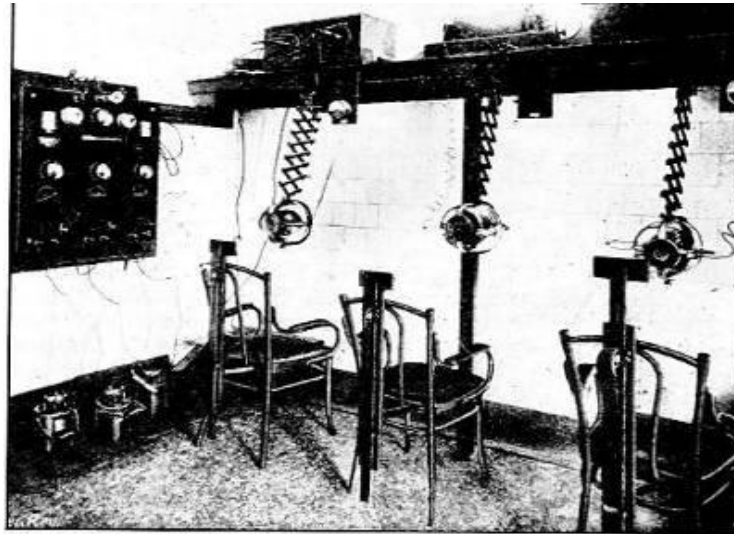
SBES Advanced Multi-scale CT (SAM-CT)



第一個放射腫瘤治療個案

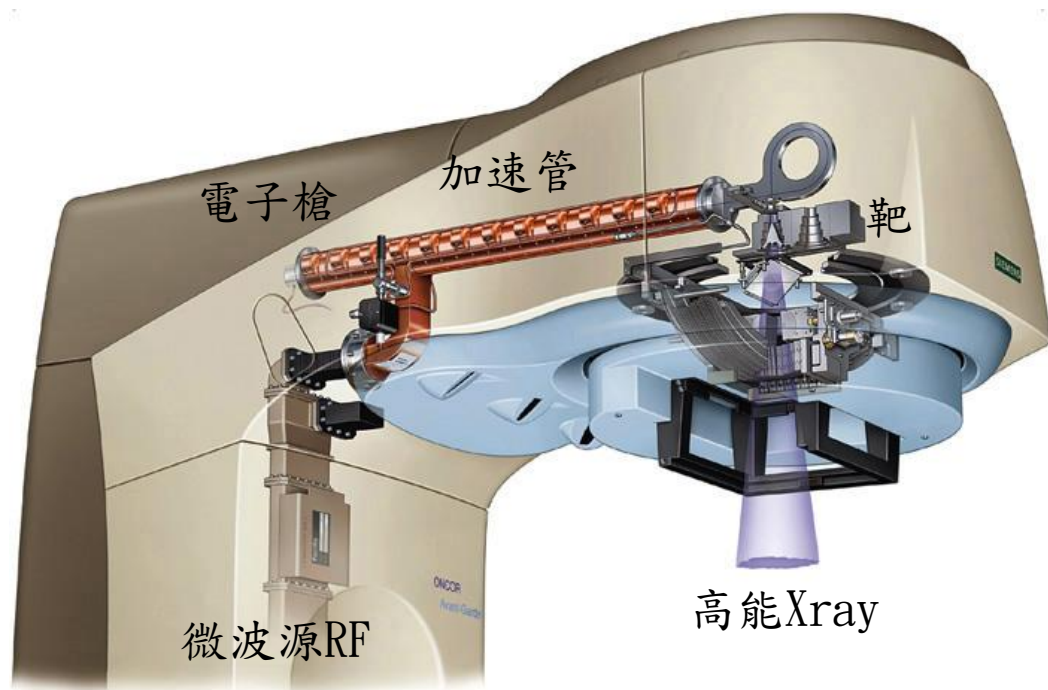


1899年治癒 鼻頭基底細胞腫瘤

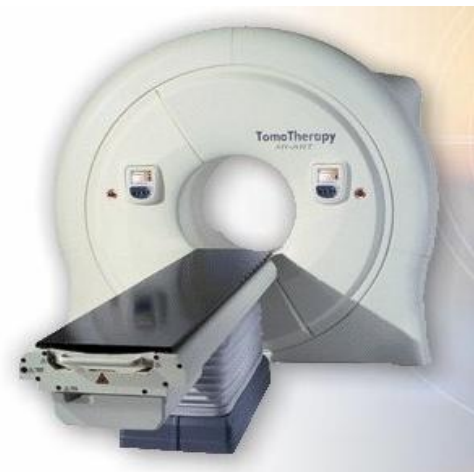


Hammersmith醫院, 1905 倫敦

放射腫瘤治療-高能加速器



醫用直線加速器



Tomotherapy(螺旋刀)



Cyberknife(電腦刀)

工業或研究用X光機

X光繞射儀

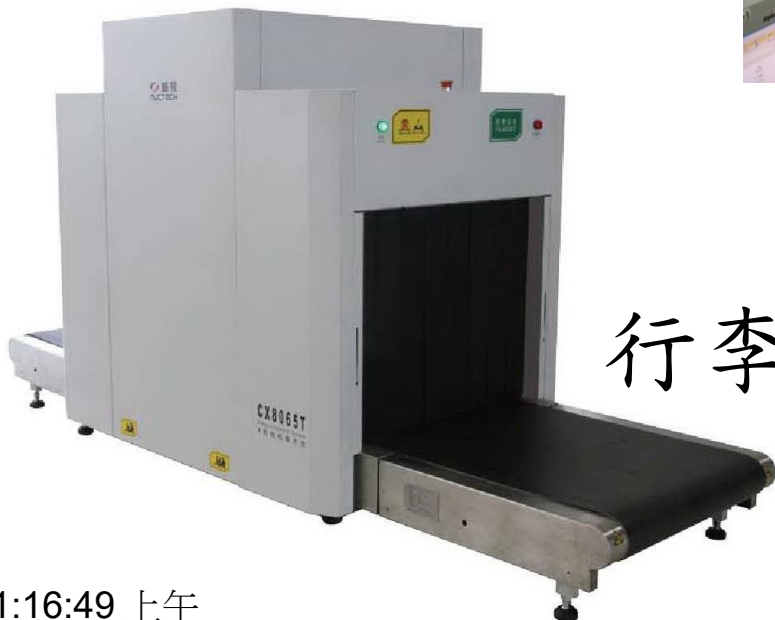


螢光分析儀



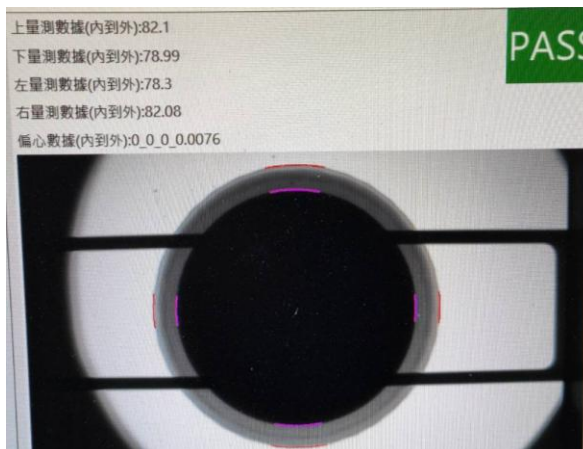
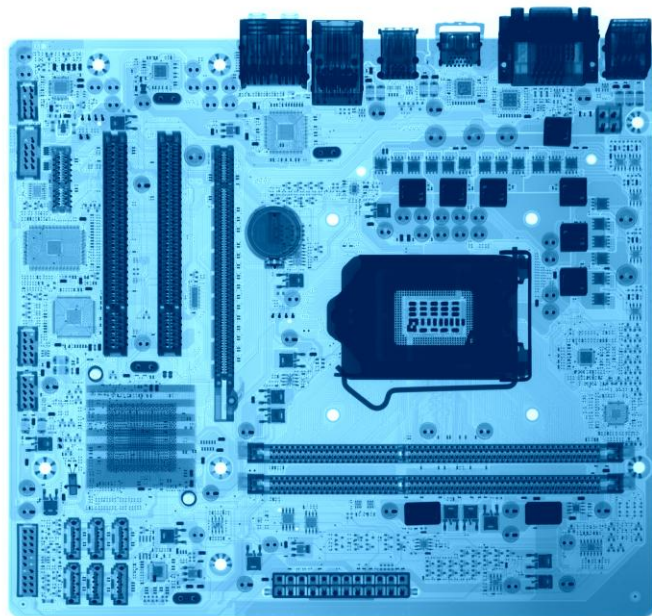
櫃型X光機

行李檢查X光機

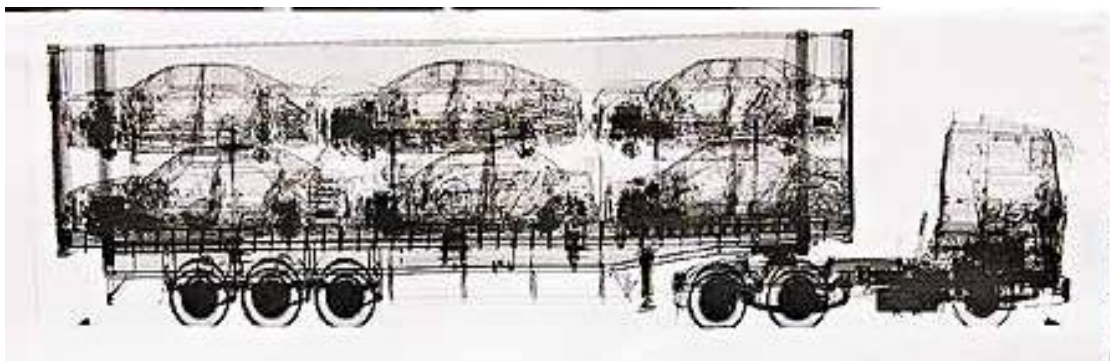


輻射的工業應用-非破壞檢測

X-ray 非破壞檢測



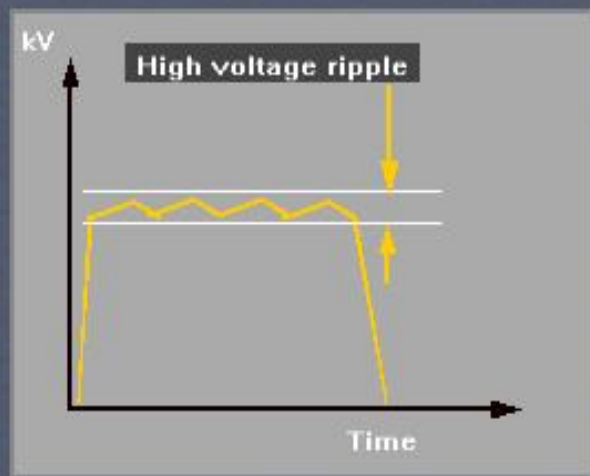
貨櫃檢查X光車



X光機-高壓產生器及管球

Generator 高壓產生器

High voltage supply



整流、濾波

110Vac-15kVdc

高壓電場

High Voltage

陽極

高真空

陰極

+kV

I_f

電子源

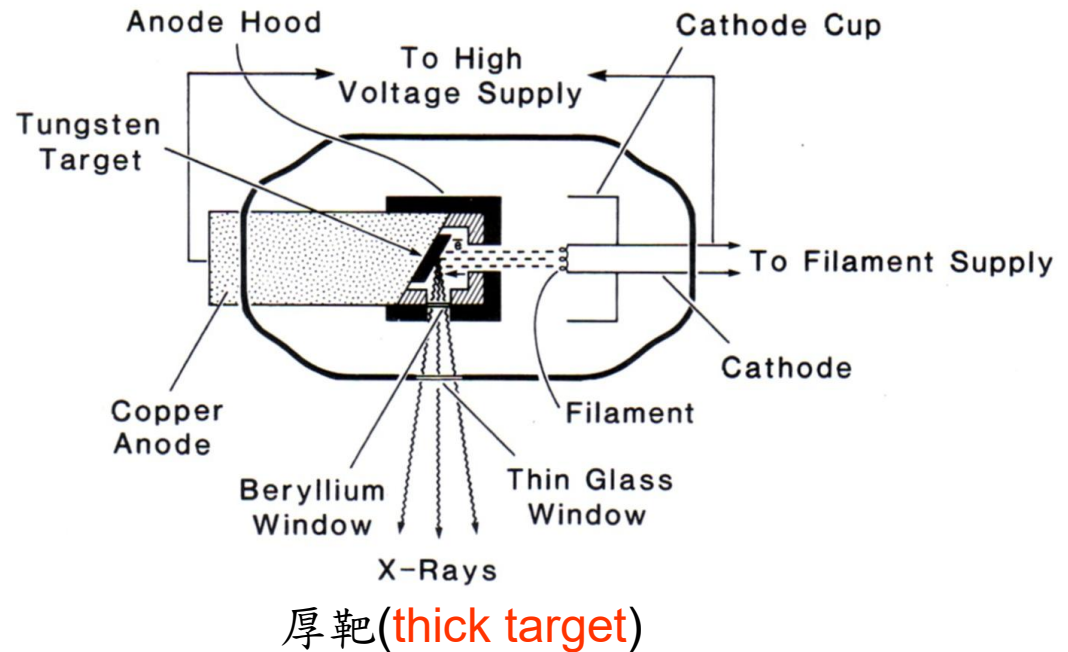
旋轉陽極X光射線管結構示意圖

X光管(X-ray Tube)示意圖

旋轉陽極X光射線管



固定式陽極X光射線管



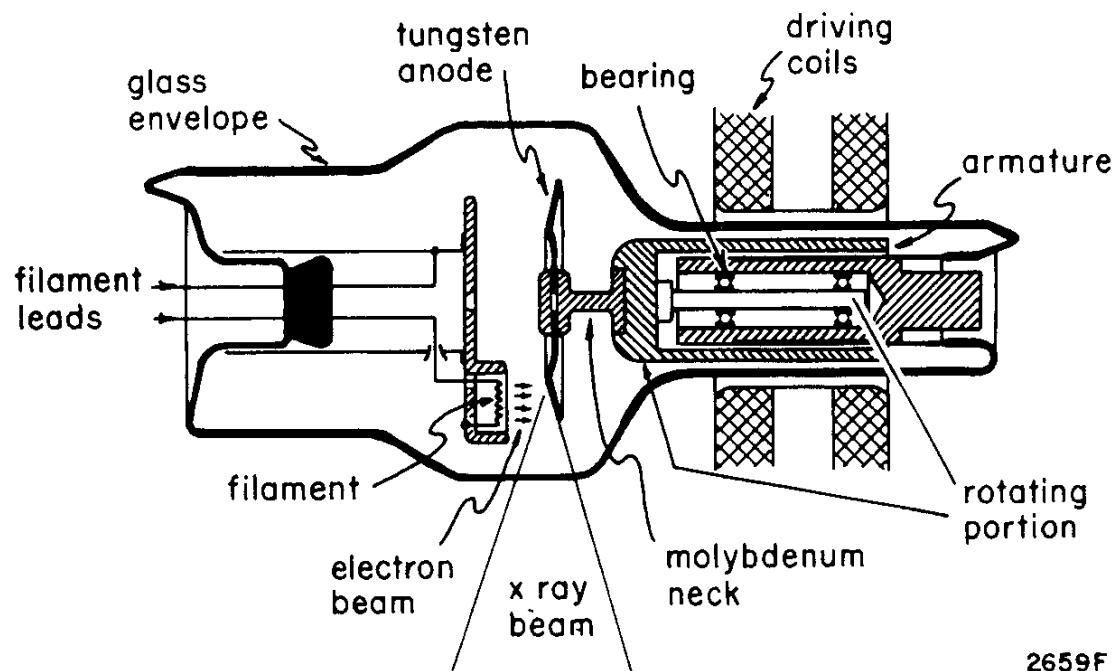
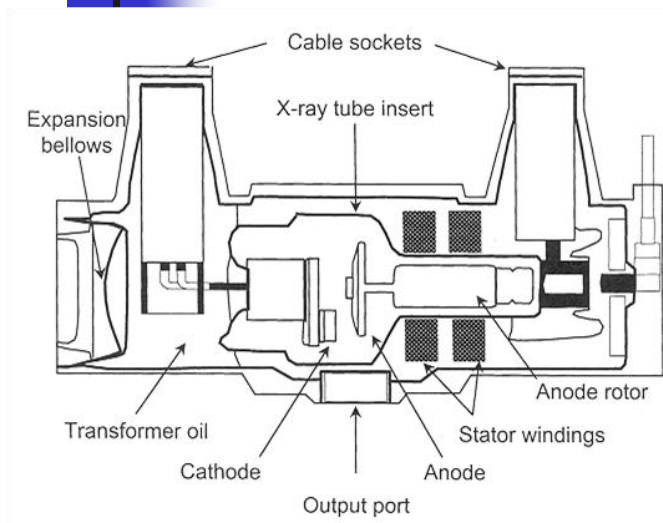
鎢作為靶材料的原因：

鎢原子序數較高，產生X射線的效率 high 和產生高能X射線；

鎢為能夠有效散熱的金屬；

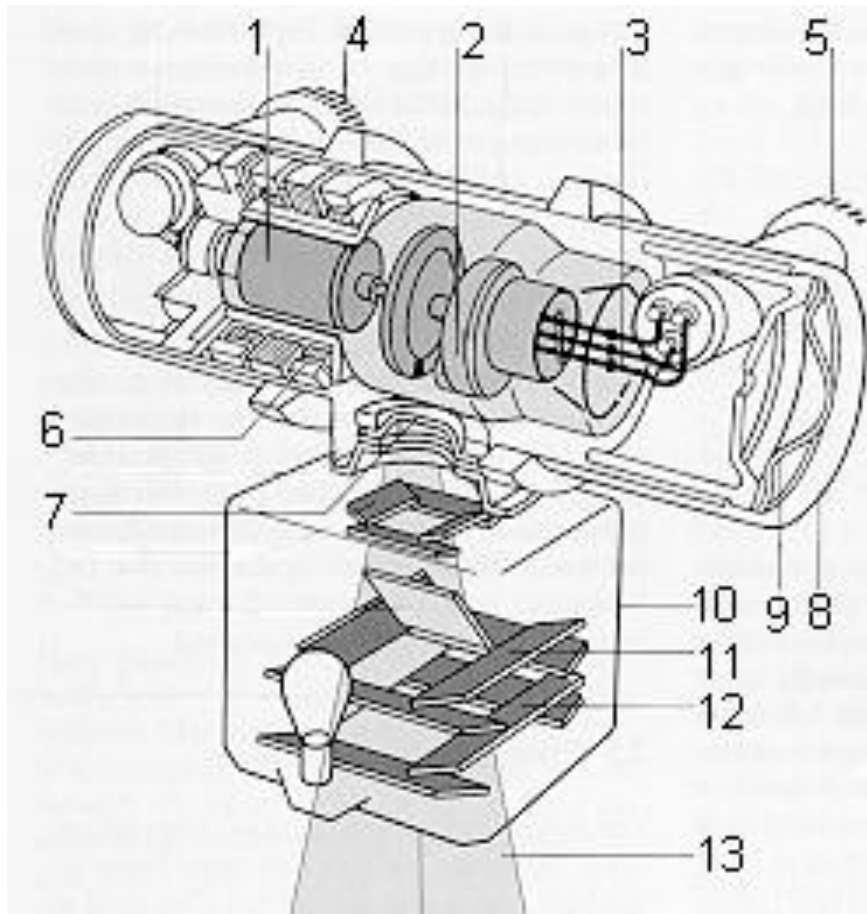
鎢具有很高的熔點 3410°C

X光管示意圖-旋轉陽極靶



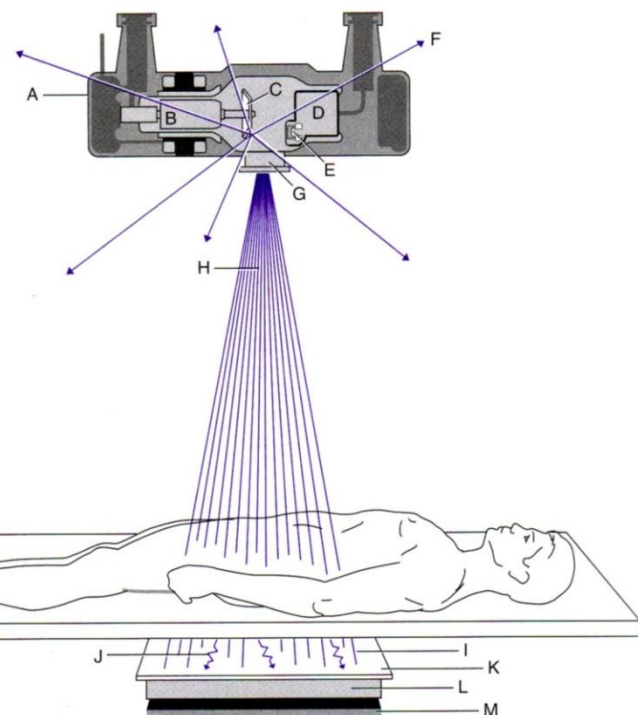
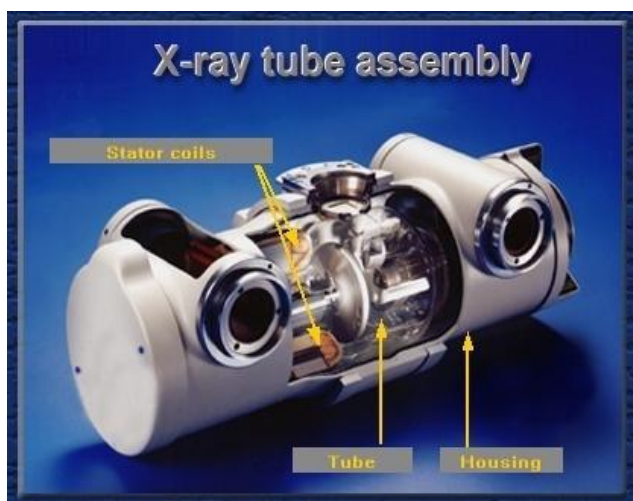
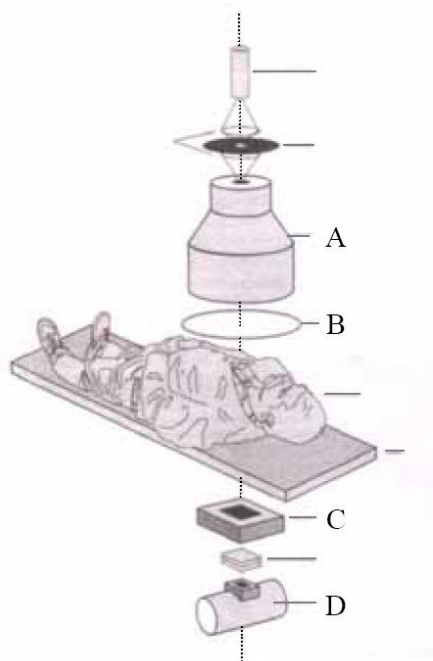
2659F

X-Ray Tube Housing & Collimator



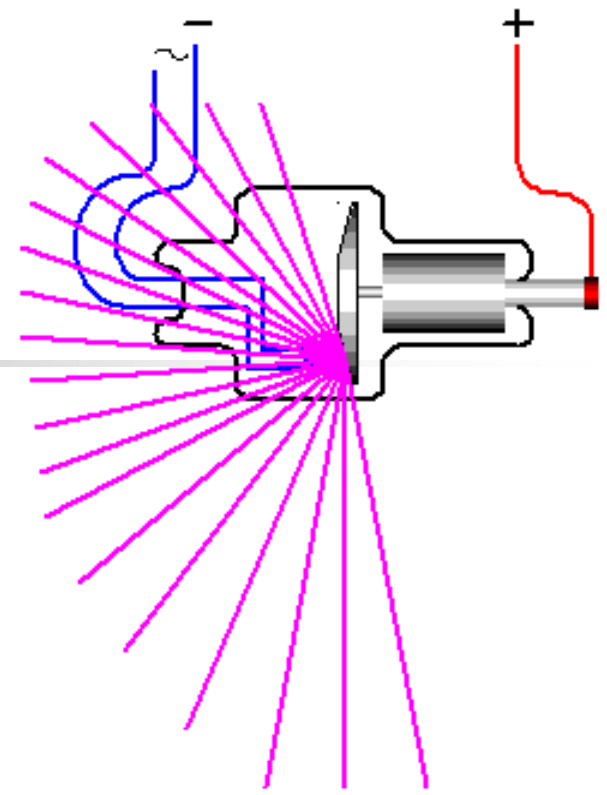
- 1 Rotor with anode disc
- 2 Cathode
- 3 Filament supply leads
- 4 High tension outlet anode side
- 5 High tension outlet cathode side
- 6 Stator winding
- 7 Radiation window
- 8 Protective casing of the tube assembly
- 9 Expansion bellows
- 10 X-ray beam collimator
- 11+12 Lead plates to limit the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

X光機-醫療用



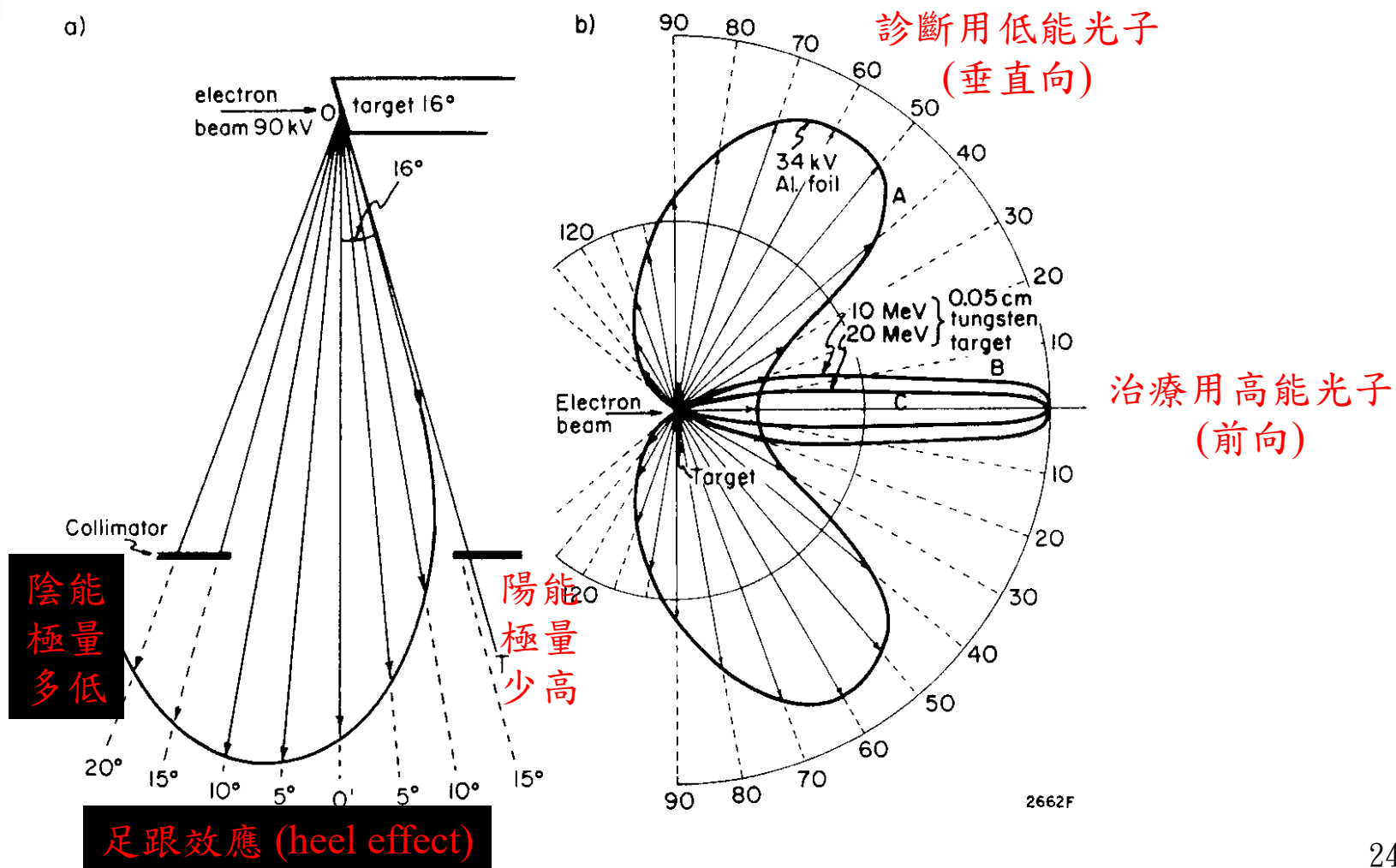
A / B / C / D分別為：影像增強器／光柵／準直儀／X光管

X-Ray Tube



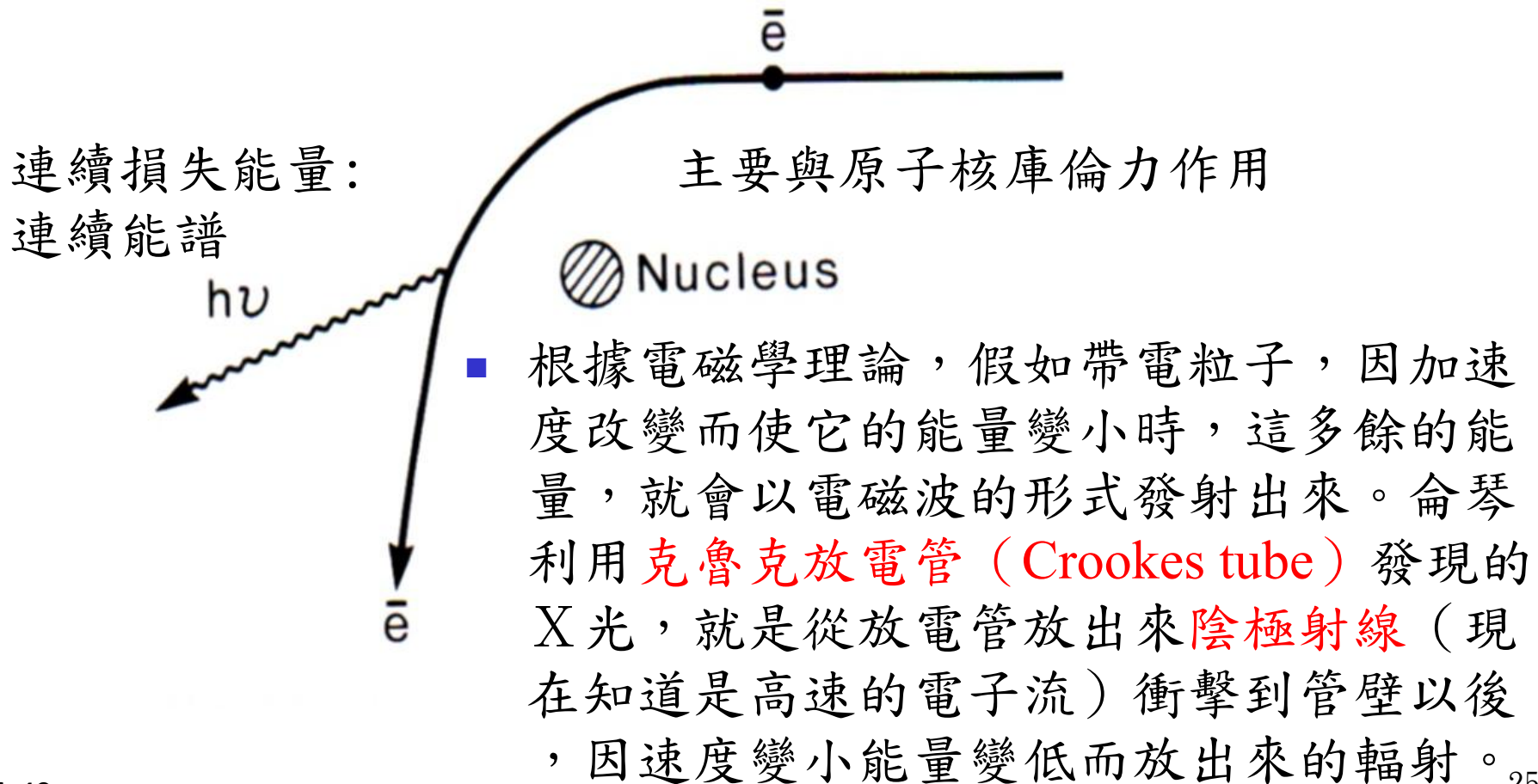
- 上圖是我們現在所用的X光管，它必定有一個陰極（cathode）用來產生電子，又利用高壓電場的作用，使電子加速，讓電子能以很高的能量向「靶」（target）撞去，受到靶阻擋而減速時，放出能量，於是產生了X光。這種X光，由是制止電子運動而產生的，所以稱做**制動輻射**（bremsstrahlung），如圖所示。
- 其中99%之動能轉換成熱能，只有**1%**產生X光。

X光的角度分布

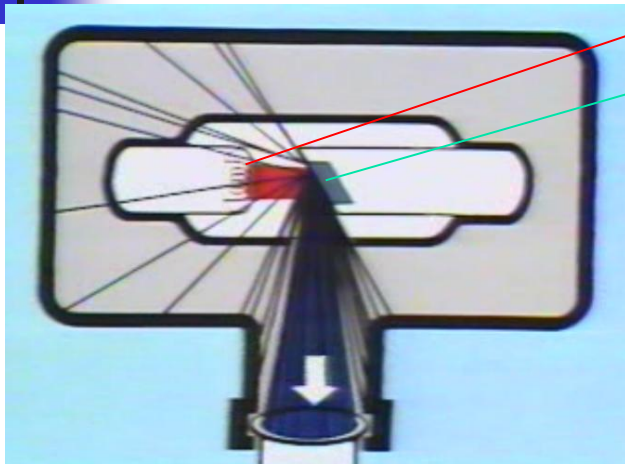


x-ray 產生機制

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



X-ray (bremsstrahlung制動輻射)



陰極(cathode)
陽極(anode)

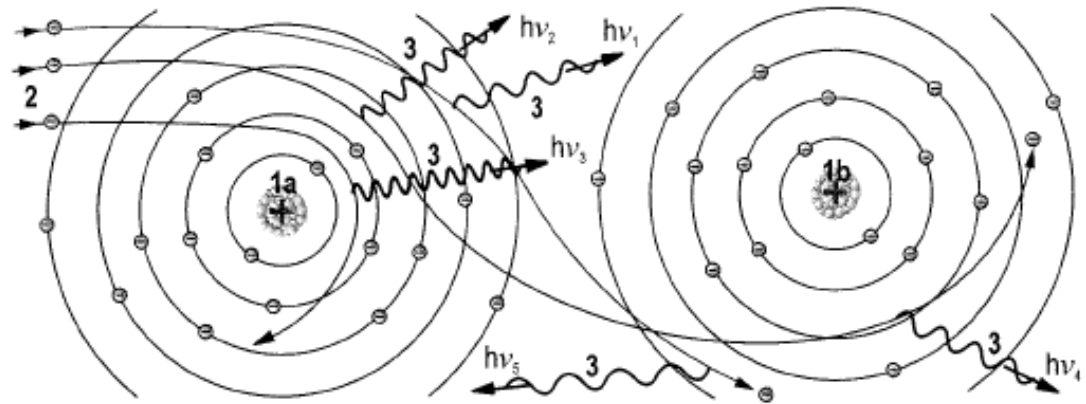
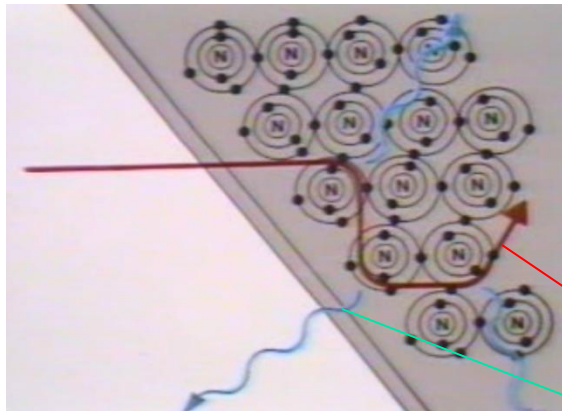
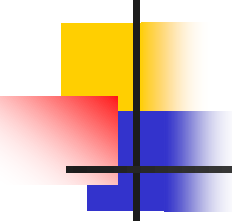


Figure 2.5 Principle of formation of X-ray bremsstrahlung through deceleration in the electrical field of the anode atoms (interaction with the nucleus of the atom)

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



制動輻射產率

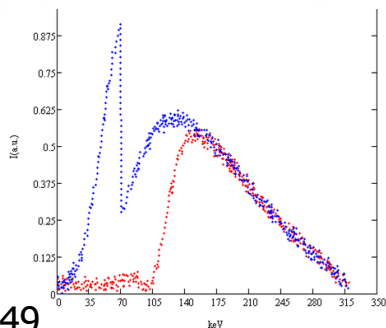
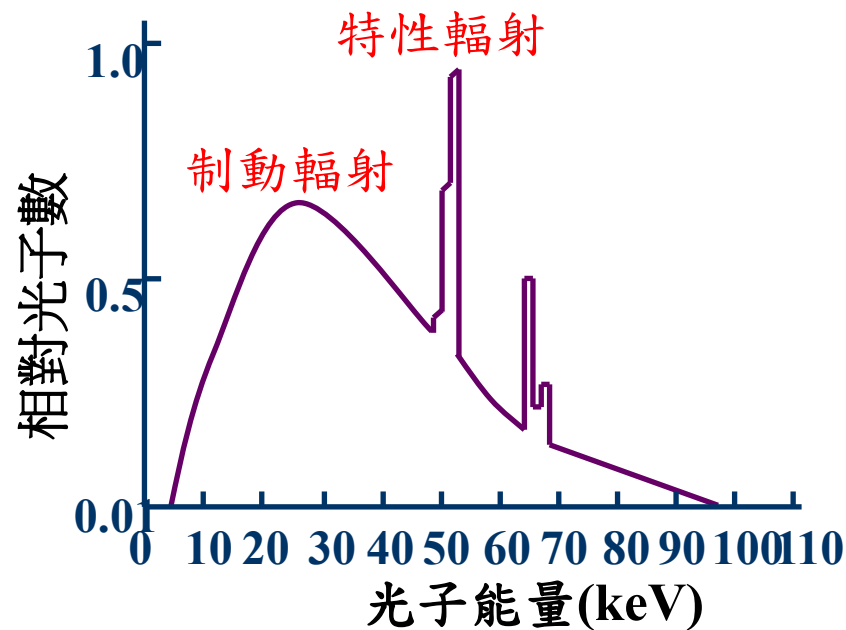
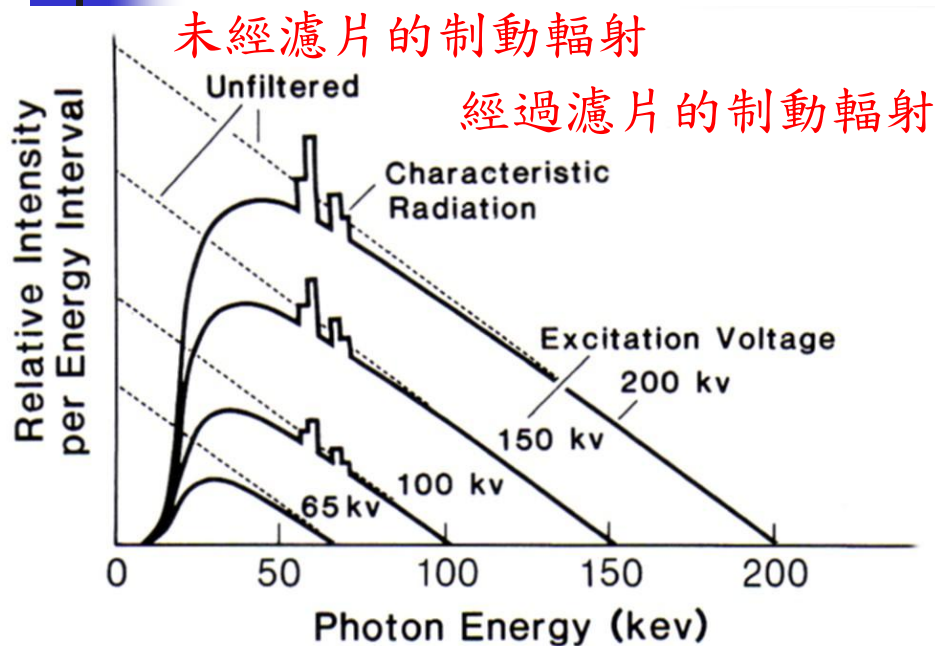
- Efficiency is defined as the ratio of **output energy** emitted as x-rays to the **input energy** deposited by electrons.

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

Z : atomic number of target (靶材原子序)

V : tube voltage(管電壓)

X-ray 能譜



為何需要濾片？ 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

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

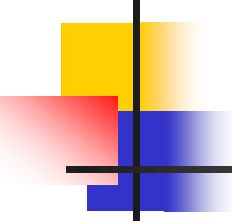


無濾片



加上濾片





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。

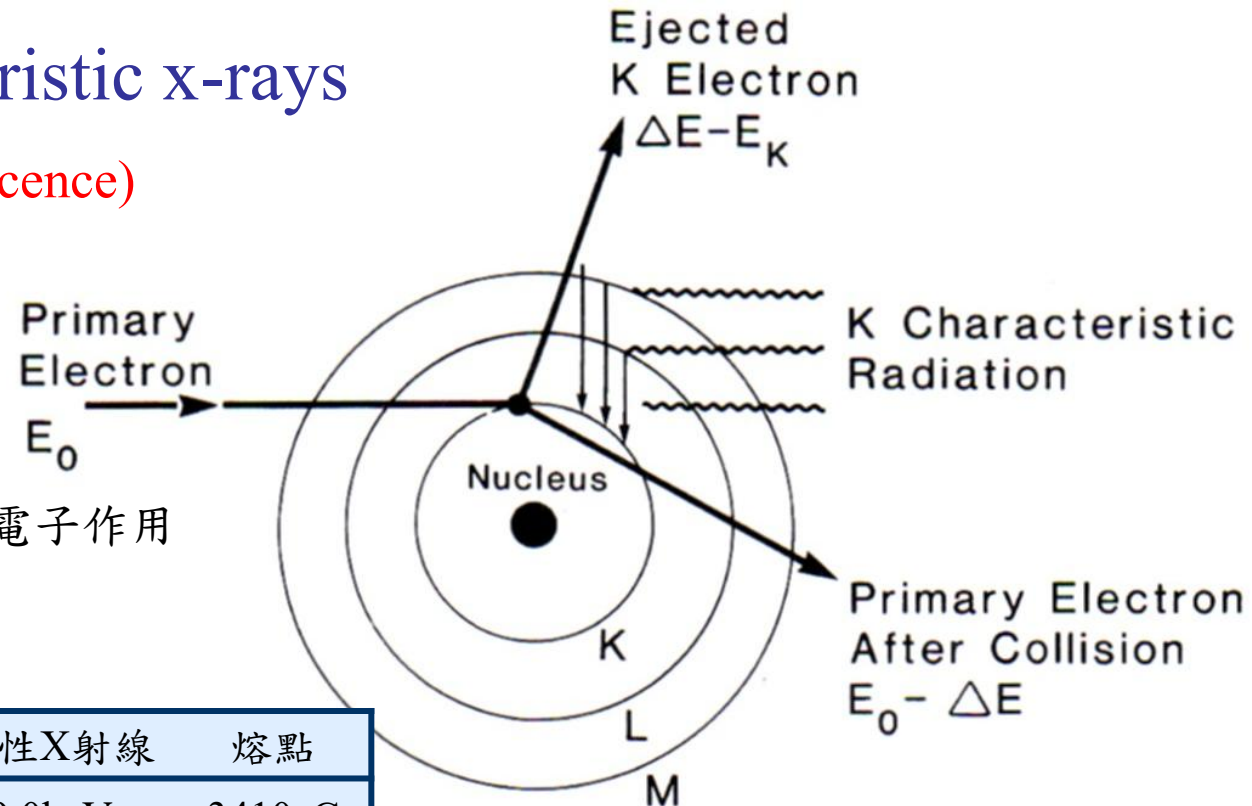


x-ray 產生機制

2. 特性Characteristic x-rays

螢光輻射(Fluorescence)

主要與原子核外電子作用



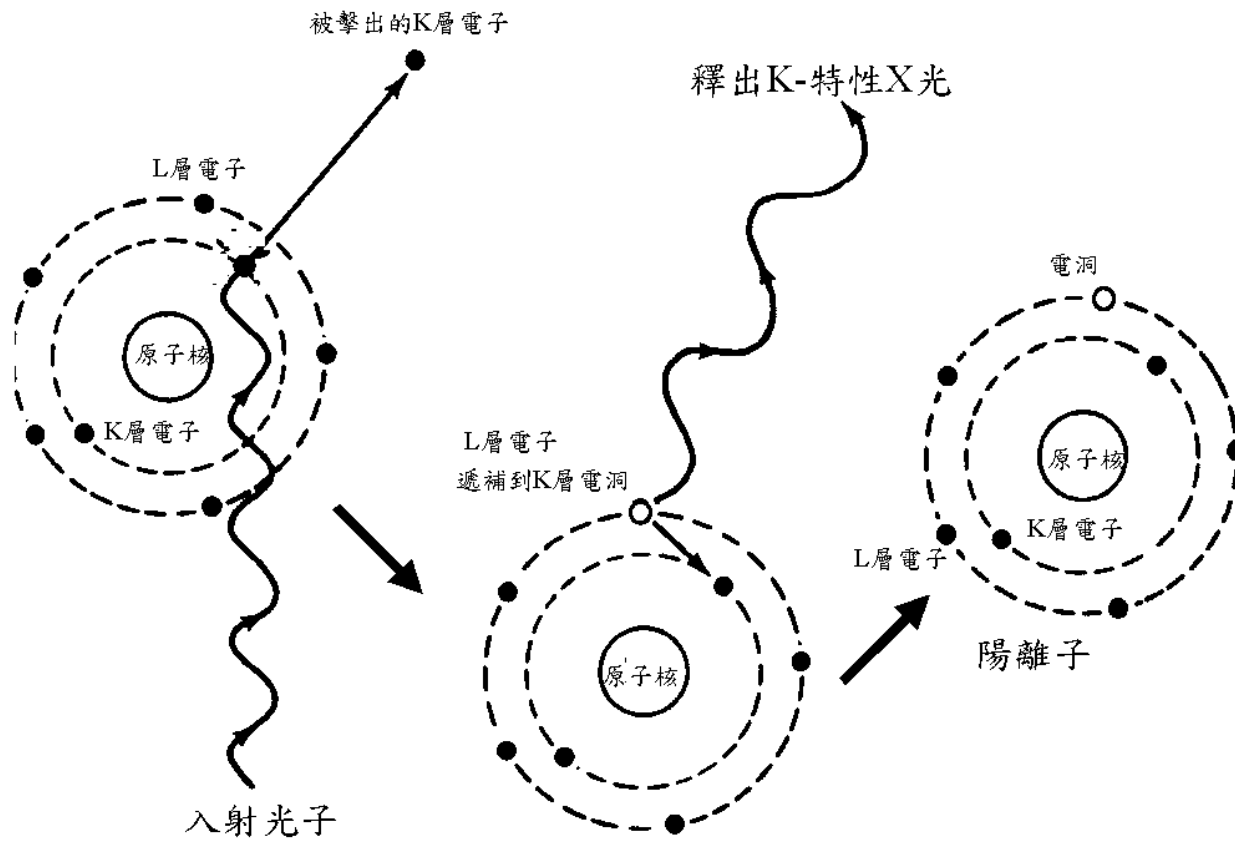
元素	元素符號	原子序數	K特性X射線	熔點
鎢	W	74	59.0keV	3410°C
鉬	Mo	42	17.4keV	2600°C
銑	Rh	45	19.7keV	3200°C

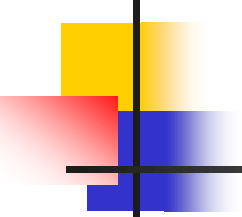


螢光X射線裝置 (XRF) 原理

- 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





元素的定性與定量分析

靶材料	原子序數	K層電子束縛能	L層電子束縛能
鋁(Al)	13	1.56	0.09
銅(Cu)	29	8.89	0.95
鉬(MO)	42	17.4	2.87
鎢(W)	74	59.0	12.09
鉛(Pb)	82	88.0	15.86

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(黃金成色分析儀)。

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射線螢光分析法所使用的輻射源種類及強度最大值如下：
 - **利用密封型同位素的螢光分析儀**
 - 銩 ^{241}Am ，740MBq (20mCi)，1110 MBq (30mCi)。
 - 鎘 ^{109}Cd ，1480 MBq (40mCi)。
 - 鐵 ^{55}Fe ，740 MBq (20mCi)。
- **小型x光管及供電器**，40kV，50 μA 。

X射線螢光分析儀



金屬成色分析儀



桌上型
黃金成色分析儀
i-RAY X-1600

食品/PCB/成品重金屬檢測



元素	%	+/-	上下限
Fe	67.23	0.735	66.90 - 75.50
Cr	23.58	0.413	21.50 - 24.50
Ni	4.83	0.240	3.00 - 5.50
Mo	3.01	0.063	
Mn	0.92	0.286	0.00 - 2.50
Sn	0.22	0.045	
In	0.12	0.039	
Sb	0.08	0.036	

手提式X射線螢光分析儀

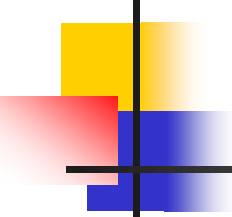
- 依照不同的分析對象，儀器可製成供野外探勘用的手提式分析儀，以及供實驗室用的，配有高分辨率偵檢器及電子計算機的多元素同時快速分析儀。
- X射線螢光分析儀廣泛應用於地質、礦山、冶金、環保、考古領域中。



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 。



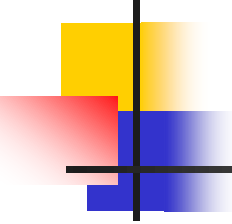
強制執行的歐盟指令摘要

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)

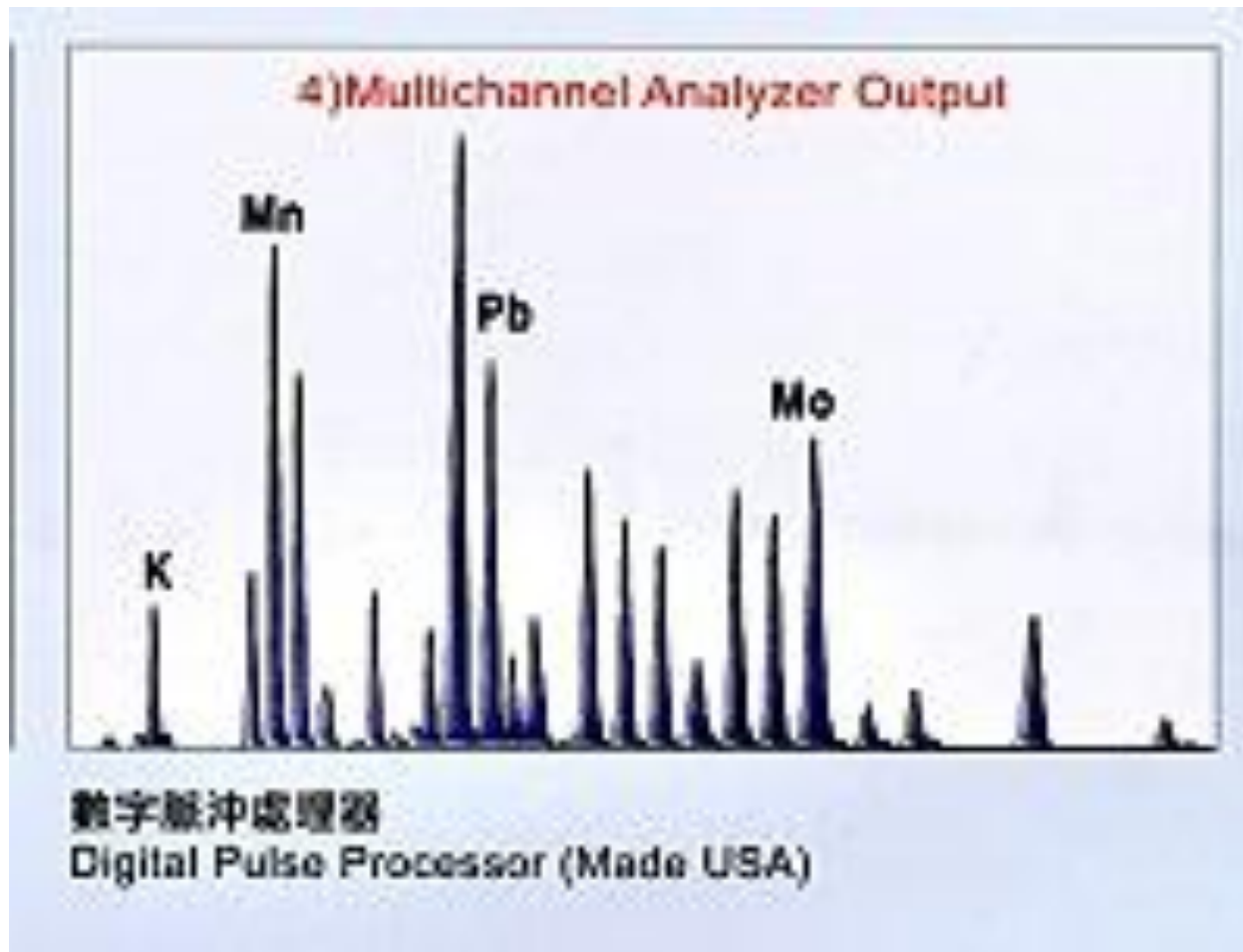
PBDE：多溴二苯醚(polybrominated diphenyl ethers)



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



元素的定性與定量分析應用

平等院鳳凰堂整修前及整修後



整修前



整修後

提供：平等院。攝影（右）：神國文影

照片為平等院鳳凰堂北翼廊的樓閣，在整修前（左，於2002年左右拍攝）及整修後（右，於2014年3月拍攝）的模樣。根據分析出土的屋瓦等研究結果，以被認為是平安時代所使用的「丹土鐵丹」（紅褐色）的色彩對平等院鳳凰堂進行塗裝修復。此外，亦對裝設在中堂（照片左手邊）屋頂上的鳳凰貼金箔，並更換屋頂的瓦片。平等院鳳凰堂已於2014年4月3日起重新開放參觀。

牛頓科學雜誌82號 2014 Aug.



寫物

用於分析的模型圖等
以白色四邊形表示

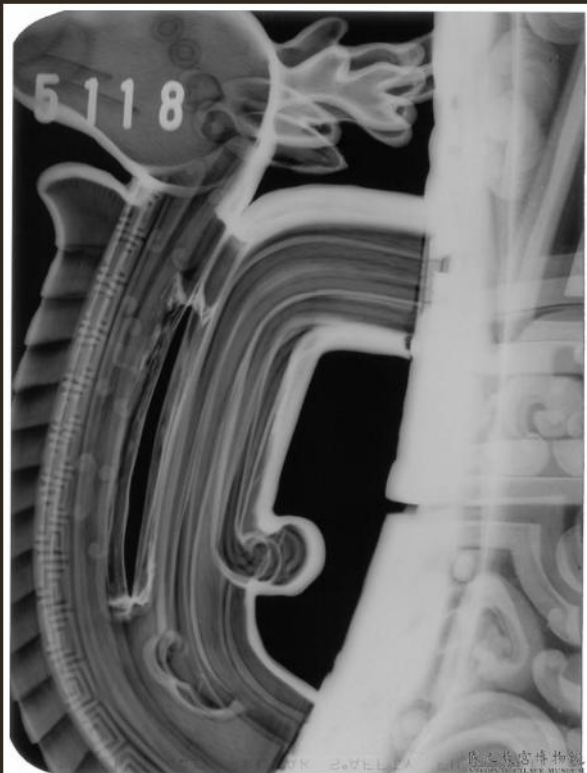


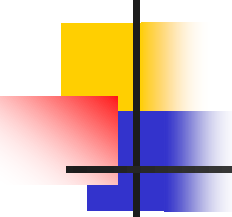
還原的電腦繪圖模型

攝影：三好和義

提供：日本東京藝術大學研究所保存修復彫刻研究室

文件名稱:清 剔彩鹿耳大瓶





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。

X光繞射分析

- 1912年由德國馮勞厄(Von Laue)提出原理(1914年諾貝爾物理獎)
- 英國布拉格父子以實驗及理論分析證實(1915年諾貝爾物理獎)
- 用於判定所有晶體之結構(有機無機元素合金)、化學分析、應力量測、顆粒大小量測、決定單晶體的晶面及晶體內具有的各種晶面

<https://www.scimonth.com.tw/archives/6184>



PANalytical X'PERT PRO

應用：

1. 塑膠部件、金屬部件、電子組件中鉛、汞、鎘、總鉻、溴的篩選測試。
2. 鍍層薄膜厚度、合金成份分析。
3. 布料熱加工程序與其染色性和物性變化間關係的分析。
4. 生物生前和死後之傷、血跡、骨骼、毛髮、精斑等物證及個人識別之分析。
5. 蛋白質與DNA的結構研究
6. 洗髮精中的矽油吸附性分析。

輻射的工業應用-離子佈植



將一定能量的離子植入固體表面的方法。藉由將原子引進固體基座表面層或其中的特定位置，藉以調整材料表面的物理、化學、機械性質，使得材料的表面和本體性能得到改善。

應用：

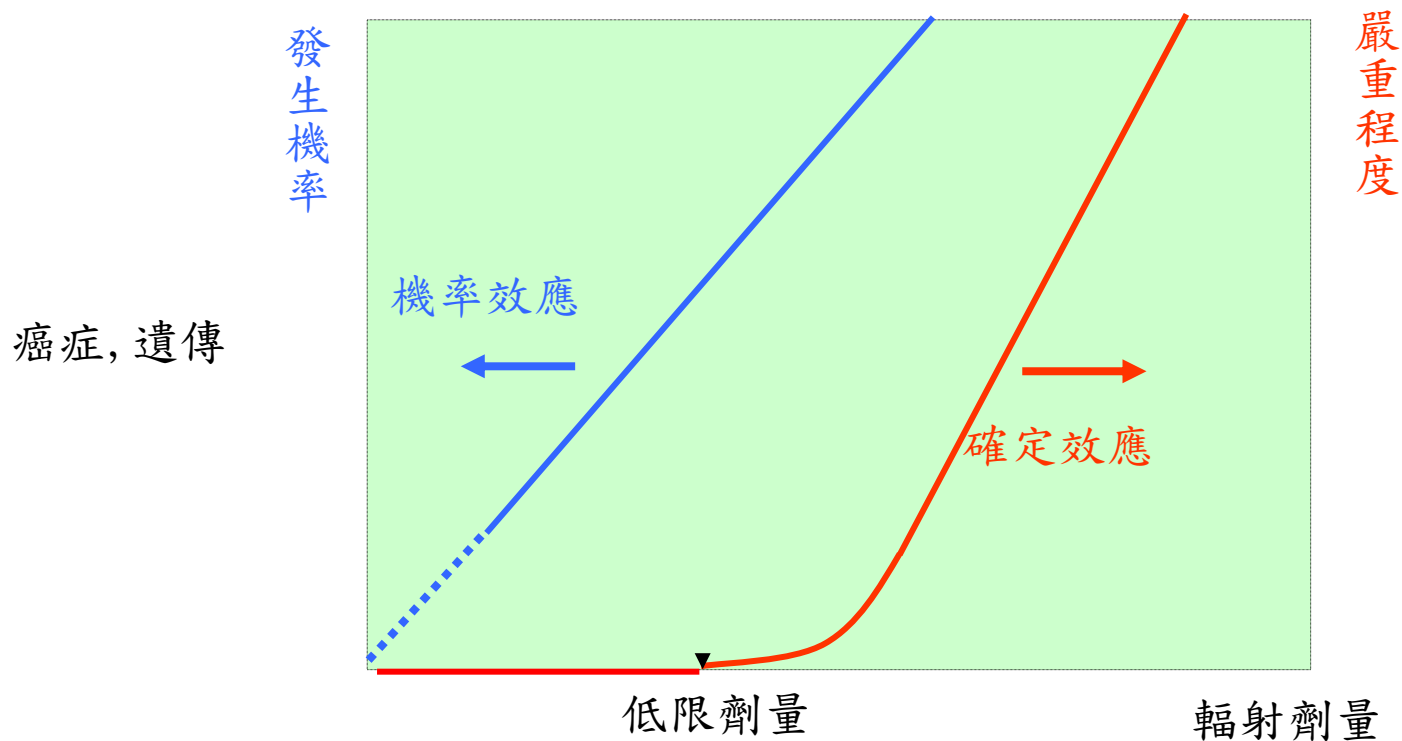
1. 半導體製程，離子植入晶片上，改變晶片表面的電性。
2. 超精密模具硬度、親/疏水性改質。
3. 光學鏡片玻璃防紫外線處理。
4. 鑽孔機材料硬度改質。
5. 靜電消散材料處理。
6. 生物性相容材料耐腐蝕處理…等。

3. X光機輻射安全與屏蔽規劃



輻射防護目的

- 防止**確定效應**的發生(皮膚紅斑, 白內障)
- 降低**機率效應**的發生至合理可接受之低水準



輻射生物效應

(一) 確定效應(deterministic effect)：指導致組織或器官之功能損傷而造成之效應，其嚴重程度與劑量大小成比例增加，此種效應可能有劑量低限值。

(二) 機率效應(stochastic effect)：指致癌效應及遺傳效應，其發生之機率與劑量大小成正比，而與嚴重程度無關，此種效應之發生無劑量低限值。

輻射之健康效應	內容	與接受劑量關係	劑量低限值	損傷類型
確定效應 (等價劑量)	指導致組織或器官之功能損傷而造成之效應	其嚴重程度與劑量大小成比例增加	此種效應可能有劑量低限值。	皮膚損傷、白內障、嘔吐、皮膚紅斑、不孕
機率效應 (有效劑量)	致癌效應 遺傳效應	其發生之機率與劑量大小成正比	此種效應之發生無劑量低限值。	癌（白血病、甲狀腺癌）、遺傳效應

體外曝露的輻射防護基本原則

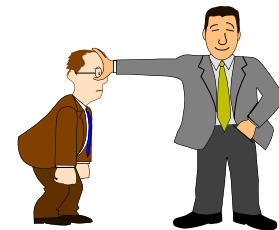
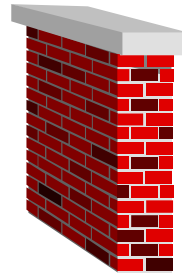
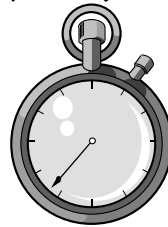
- 體外輻射防護的基本原則是指TSD原則

- T: Time(時間)

- S: Shielding(屏蔽)

- D: Distance(距離)

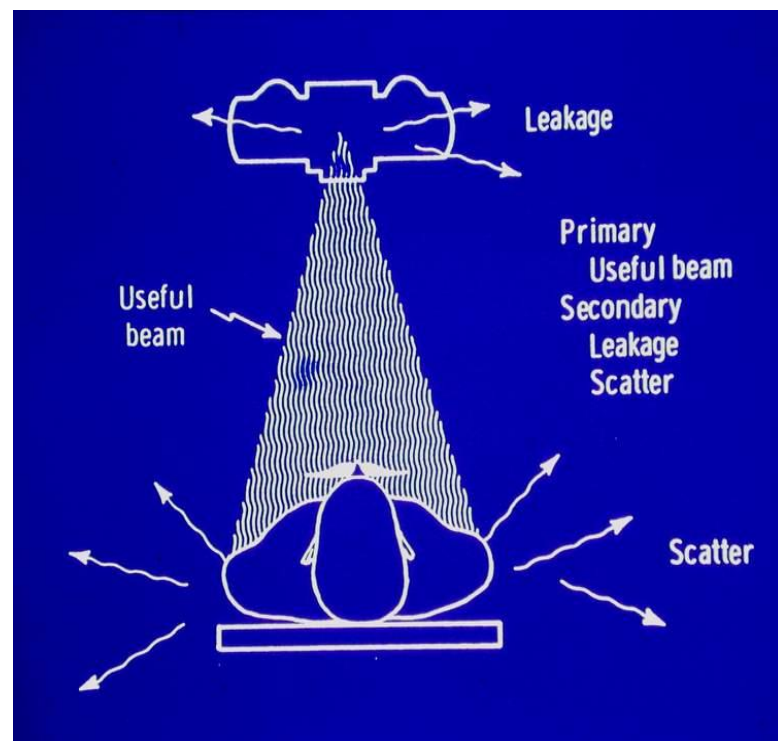
- D: Decay (衰減)



- TSD原則是儘量減少體外曝露時間, 使用輻射屏蔽與增加距射源距離

X光機從業人員輻射曝露來源

- ➡ X光管之滲漏輻射
- ➡ 有用射束之散射輻射
- ➡ 照射病人或待測物品時之散射輻射



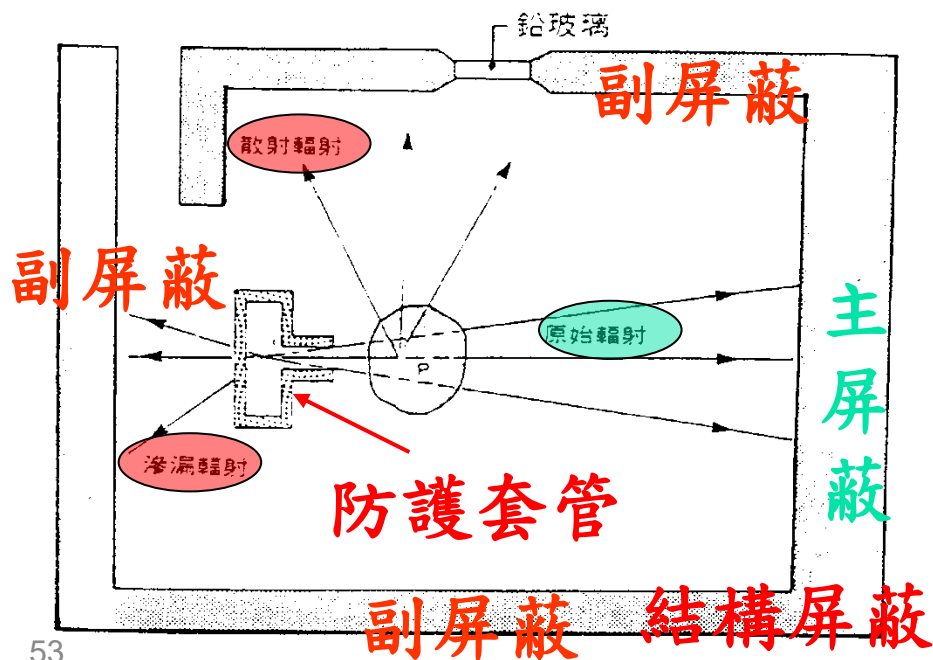
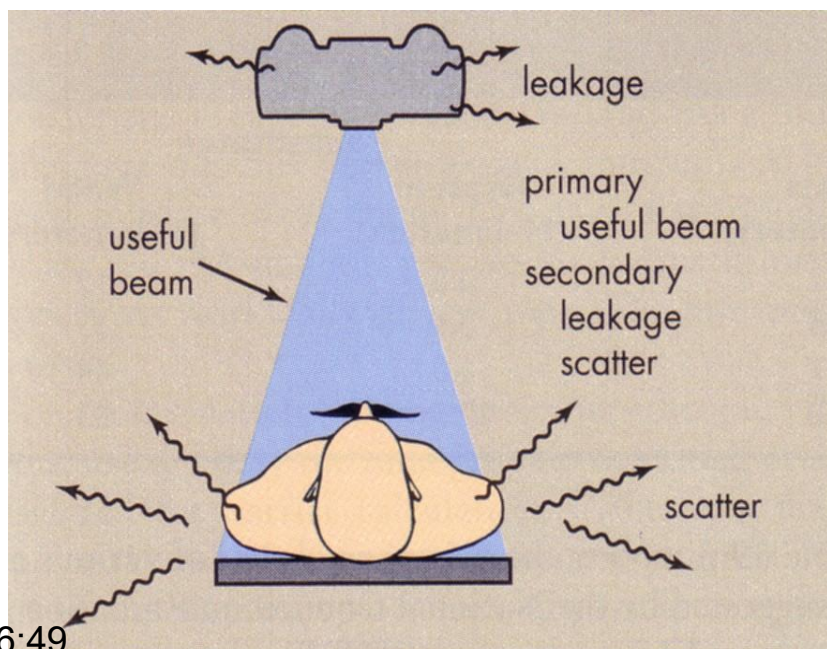
體外照射(X光機)之屏蔽設計

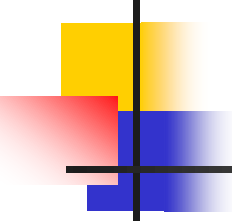
X光機從業人員輻射曝露來源

- ➡ 有用射束
- ➡ X光管之滲漏輻射
- ➡ 照射病人或待測物品時之散射輻射

■ 必須針對三種輻射實施屏蔽設計：

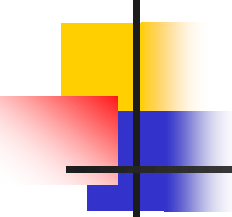
- 1.原始輻射(primary radiation)
- 2.散射輻射(scatter radiation)
- 3.滲漏輻射(leakage radiation)





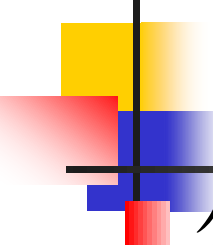
防護管套（射源屏蔽）

- 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)。



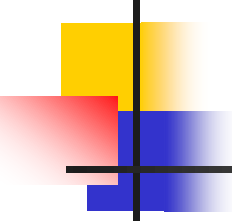
名詞定義

- 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

$$T = 1/4$$

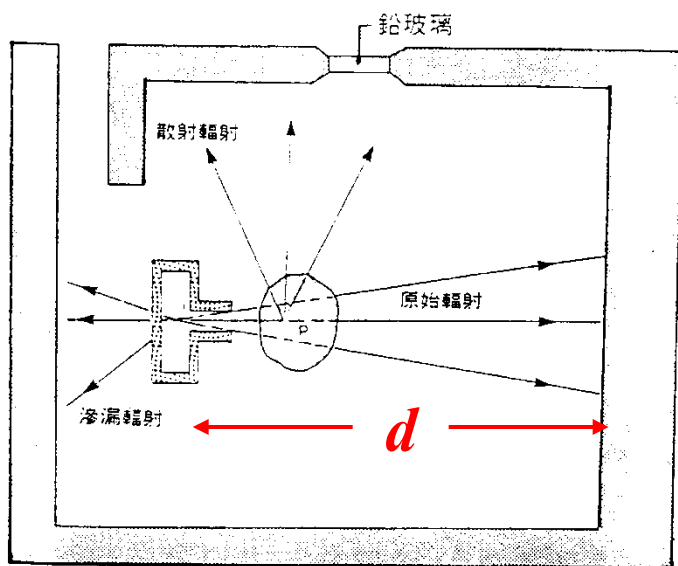
Corridors too narrow for desks, utility rooms, rest rooms not used routinely by occupationally exposed personnel, elevators run by operators, and uncontrolled parking lots

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



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

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

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.)

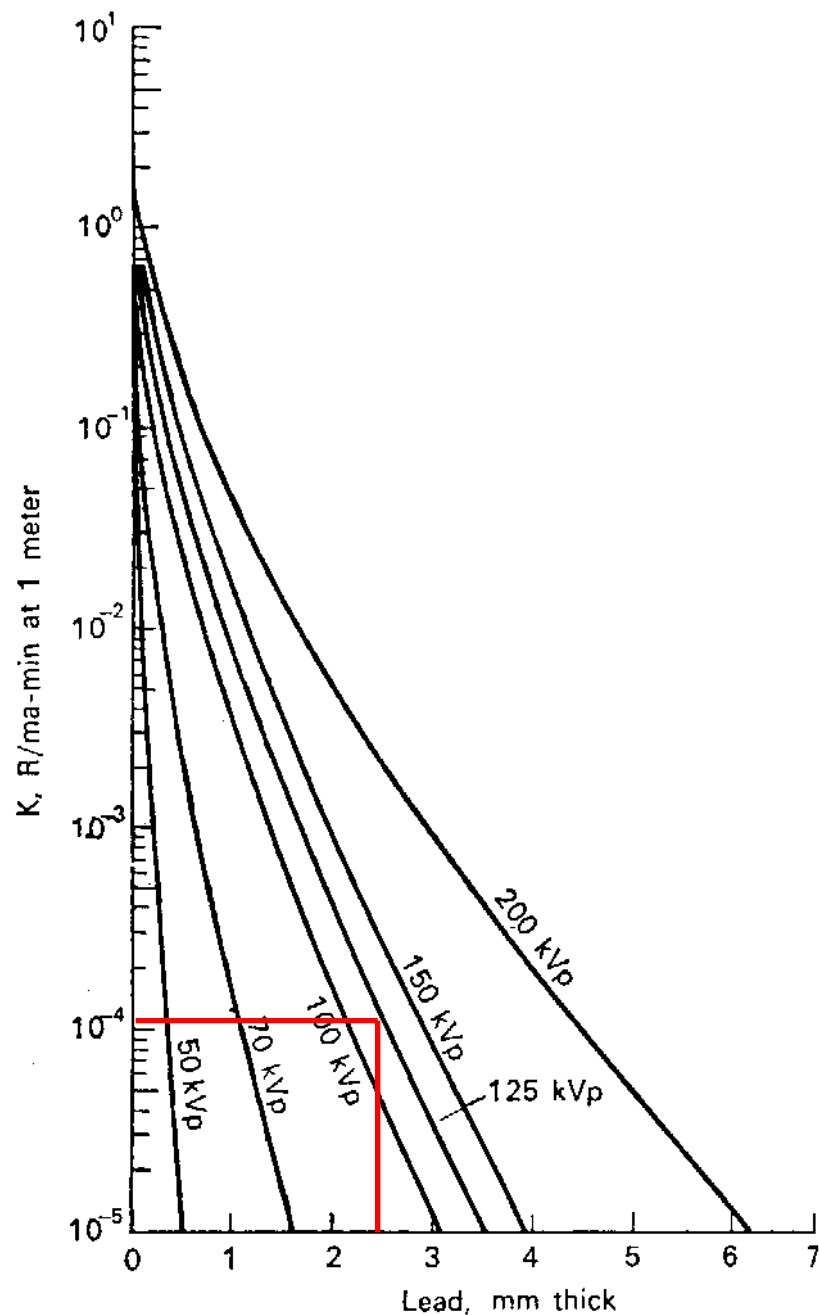
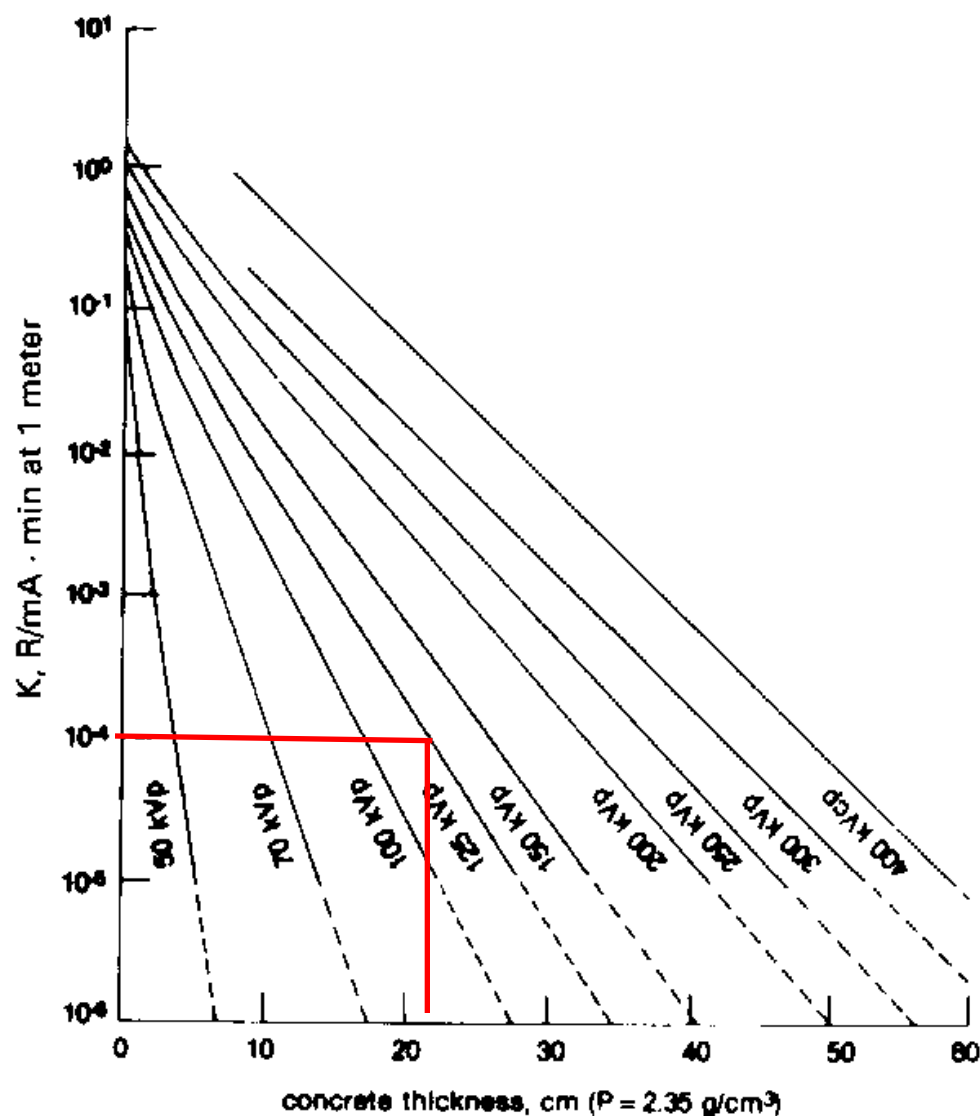
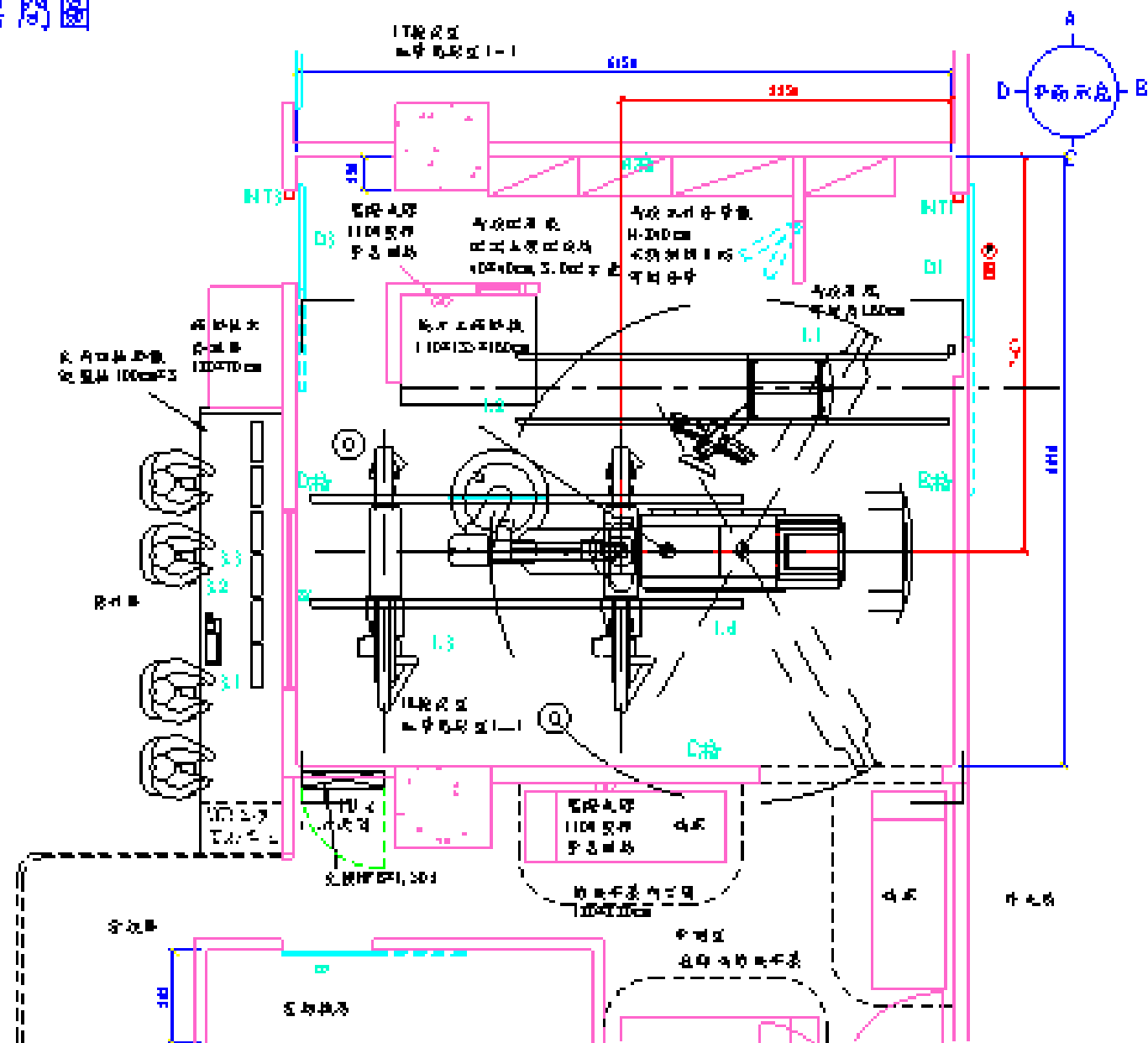


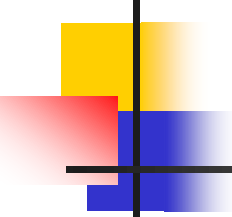
FIGURE 10.13. Attenuation in concrete of X-rays produced by potentials of 50 to 300 kVp; 400 kV constant potential. The measurements were made with a 90° angle between the electron beam and the axis of the X-ray beam. The curves for 50 to 300 kV are for a pulsed waveform. The filtrations were 1 mm Al 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.)





* 新學風 + 獨立人格

UNITS: mm
SCALE: 1/50



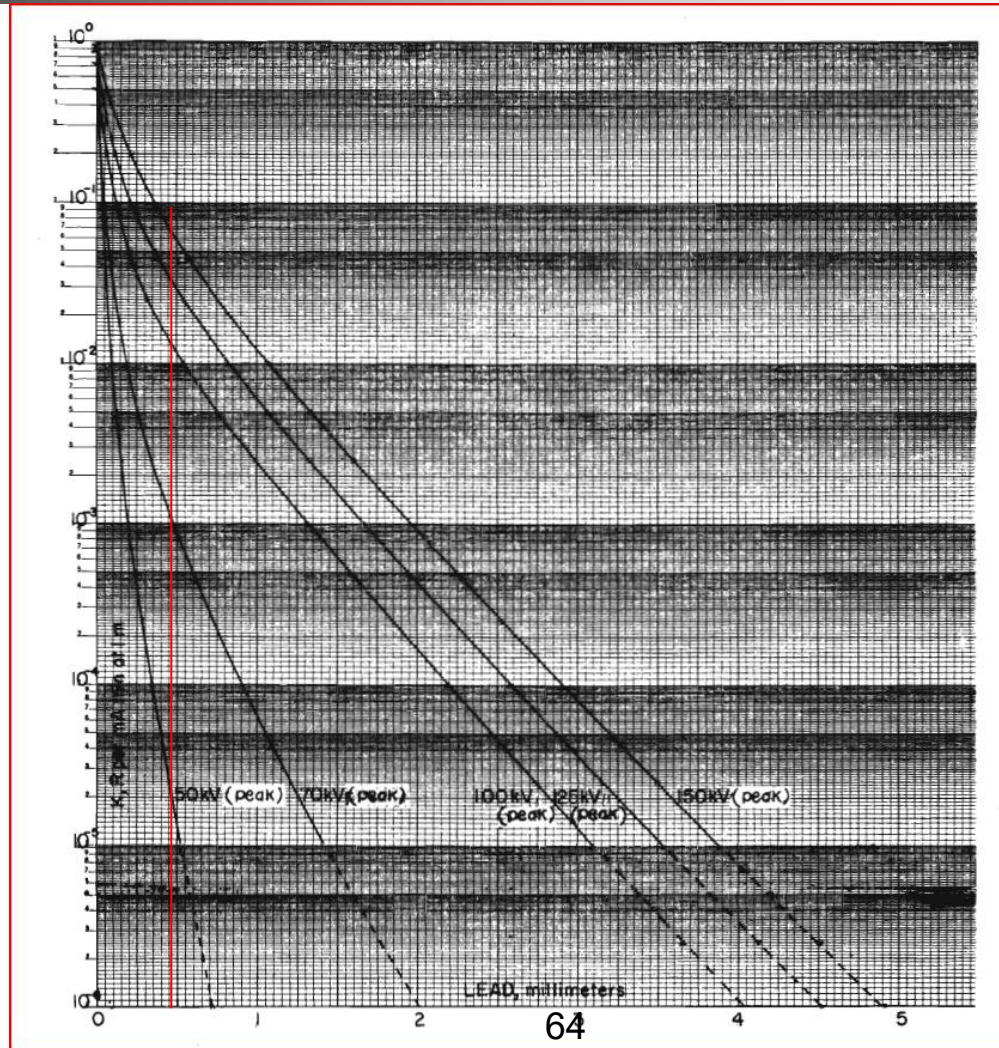
光子屏蔽的材料選擇

- 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

峰值電壓 (kVp)	半值層(HVL)		
	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
銻 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

鉛手套



鉛眼鏡



鉛頸



適當的結構屏蔽



移動式鉛屏風屏蔽



個人的防護屏蔽

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



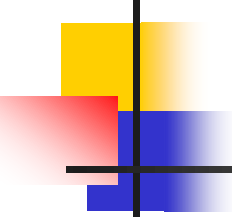
輻射屏蔽

X光行李檢查儀

鉛簾



鉛壁



光子屏蔽材料鉛當量 (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

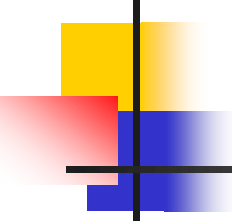
非鉛不可？

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。

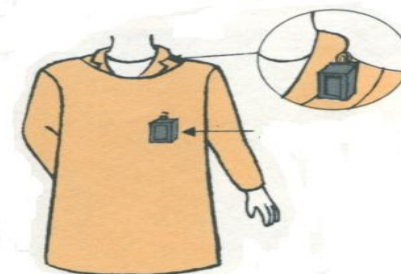
X射線螢光分析儀的輻射防護

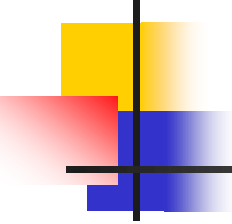
- 所用低能量光子是相當易於屏蔽，但必須要小心以防止直接曝露於主輻射束，特別是靠近儀器。
- 良好設計與維持的鄰近裝置(proximity device)，能防止安全活門的開啟，除非探頭是與調查中的樣品接觸。必須細心運用，避免射源的正面受損傷。



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

- 游離輻射防護法及其施行細則
- 游離輻射防護安全標準
- 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
- 放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法

游離輻射防護法規體系



游離輻射防護法

人

游離輻射防護法施行細則

輻射源

游離輻射防護安全標準

輻射防護管理組織及
輻射防護人員設置標準

輻射防護人員管理辦法

放射性物質或
可發生游離輻射設備
操作人員管理辦法

放射性物質生產設施
運轉人員管理辦法

高強度輻射設施種類及
運轉人員管理辦法

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

放射性物質安全運送規則

輻射工作場所與場所外
環境輻射監測作業準則

嚴重汙染環境輻射標準

游離輻射防護管制
收費標準

放射性物質及可發生
游離輻射設備或其
設施年度偵測項目

人員輻射劑量評定機構
認可及管理辦法

輻射防護服務相關
業務管理辦法

軍事機關輻射防護
及管制辦法

輻射醫療曝露品質
保證標準

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

商品輻射限量標準

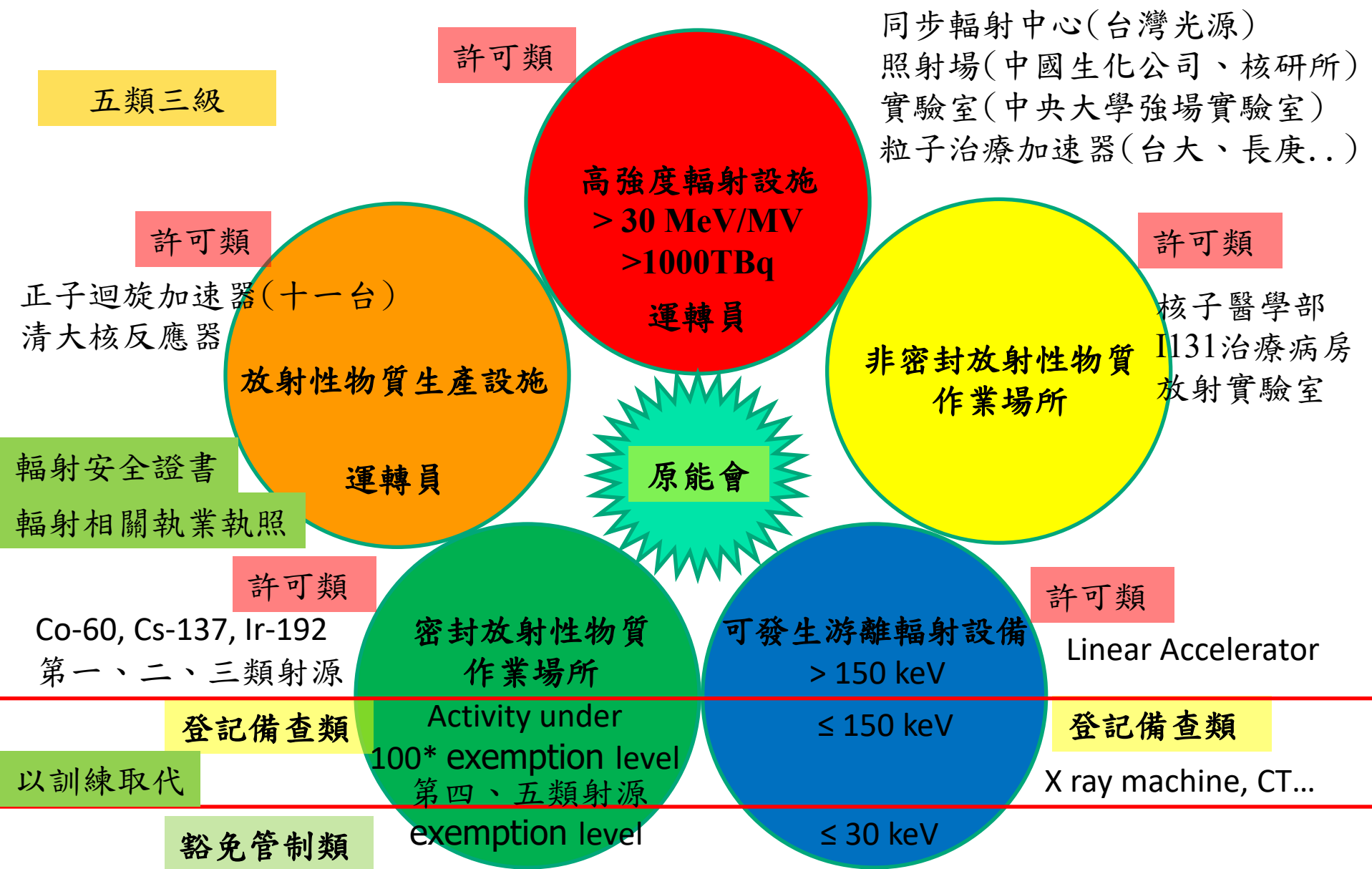
天然放射性物質
管理辦法

輻射汙染建築物
事件防範及
管理辦法

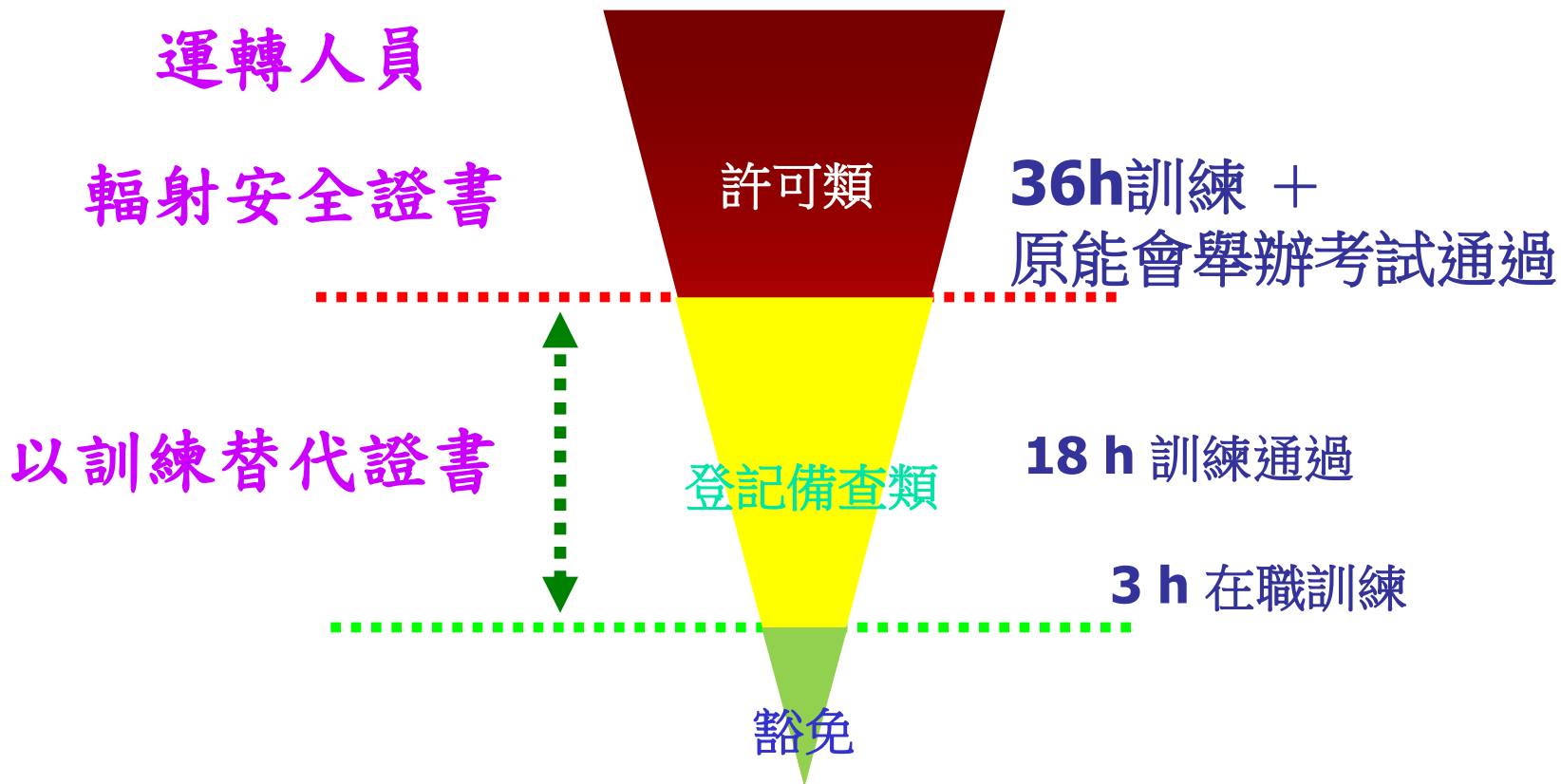
輻射工作人員
特別健康檢查項目

輻射源豁免管制標準

放射性物質與可發生游離輻射設備管理辦法



操作人員資格對應

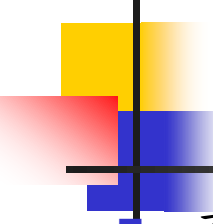


課程依據

法規名稱	條目	法規內容
游離輻射 防護法	31	操作放射性物質及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<u>輻射安全證書</u>或<u>執照</u>。但領有<u>輻射相關執業執照</u>經主管機關認可者或<u>基於教學需要在合格人員指導下從事訓練者</u>，不在此限。」 「前項證書或執照，於操作<u>一定活度以下之放射性物質</u>或<u>一定能量以下之可發生游離輻射設備</u>者，得以<u>訓練</u>代之；其一定活度或一定能量之限值，由主管機關定之。
		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： <u>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。</u> 主管機關認可之輻射防護訓練業務機構之<u>學員</u>。 接受臨床訓練之醫師、牙醫師或於醫院<u>實習之醫學校院學生、畢業生</u>。 接受<u>職前訓練之新進人員</u>。

放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法

放射性物質或 可發生游離輻射設備 操作人員管理辦法	05	本法第三十一條第二項規定之<u>一定活度或一定能量</u>之限值如下： 1.<u>毒氣偵檢器</u>中任一組件所含<u>銻二四一</u>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。 2.放射性物質在儀器或製品內或形成一組件，其活度為<u>豁免管制量一千倍以下</u>，且可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗。 3.<u>氣相層析儀</u>或<u>爆裂物偵檢器</u>所含<u>鎳六三</u>之活度為七百四十百萬貝克。 4.<u>避雷針</u>中所含<u>銻二四一</u>之活度為三百七十百萬貝克。 5.前四款以外之<u>放射性物質活度為豁免管制量一百倍</u>。 6.可發生游離輻射設備其<u>公稱電壓為十五萬伏或粒子能量為十五萬電子伏</u>。 7.<u>櫃型或行李檢查 X 光機</u>、<u>離子佈植機</u>、<u>電子束焊機</u>或<u>靜電消除器</u>，其可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗。 8.其他經主管機關指定者。 放射性同位素 可發生游離輻射設備
	07	輻射安全證書有效期限為<u>六年</u>，期限屆滿前三個月至六個月內，申請人得填具申請書，並檢附證書有效期限內接受主管機關認可之輻射防護訓練業務者舉辦之<u>輻射防護訓練</u>，或接受本法第十四條第四項之定期教育訓練，合計時數<u>三十六小時以上</u>證明文件，向主管機關申請換發。 輻射安全證書逾有效期限者，不得依前項規定申請換發。



操作游離輻射相關實驗資格

- 本校「基於教學需要在合格人員指導下從事操作訓練者」，須參加本校3小時以上之輻射防護訓練，並取得本校輻射操作認可證明書，或受過其他原能會認可之輻射防護訓練業者辦理之3小時以上輻防教育訓練。本校訓練證明3年有效，逾期應接受再訓練講習始可延展3年。
- 學校及學術研究機構之教員、研究人員及學生於接受3小時以上之輻射防護講習後，可在前項「合格人員」指導下操作登記備查類之放射性物質或可發生游離輻射設備。如需操作許可證類之放射性物質或可發生游離輻射設備，則應在前項「合格人員」直接監督下為之。
- 對於僅在學校或學術研究機構接受3小時操作訓練之人，因其不具「合格人員」資格，故不得規畫操作程序及輻射防護講習，亦不得指導他人操作。

輻射防護服務相關業務管理辦法

中華民國100年6月28日

會輻字第1000009888號

修正「輻射防護服務相關業務管理辦法」第五條之一、第八條、第二十二條及第十二條附表一、附表二。

附修正「輻射防護服務相關業務管理辦法」第五條之一、第八條、第二十二條及第十二條附表一、附表二

一、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三十六小時)	
訓練課程	時數
基礎輻射	六小時以上
輻射度量及劑量	六小時以上
輻射防護	七小時以上
輻射應用及防護	六小時以上
游離輻射防護法規	八小時以上
輻射防護實習或見習	三小時以上
以輻射防護訓練取代輻射安全證書 應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

輻射防護人員管理辦法第三條

輻射防護相關課程一覽表

中華民國100年8月31日
會輻字第1000013863號

課程類別	相關學科
核心課程	輻射安全、保健物理等。
相關課程	放射物理、輻射生物、輻射度量、輻射劑量、輻射屏蔽、醫學物理、放射性廢棄物與處理、放射化學、環境輻射、同步輻射、核工原理等。

註一：輻射防護相關課程應由國內公立或立案之私立專科以上學校或符合教育部採認規定之國內外專科以上學校開設之課程。

註二：申請輻射防護師認可者，擬認定課程學分數應包含「核心課程」二學分以上及「相關課程」四學分以上。（合計六學分以上）

註三：申請輻射防護員認可者，擬認定課程學分數應包含「核心課程」及「相關課程」各二學分以上。（合計四學分以上）

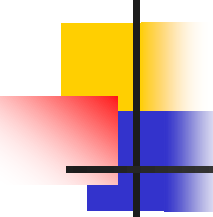
註四：「核心課程」之認定，得以採計接受輻射防護人員進階訓練達三十六小時以上，並持有結業證書代之。

物質、設備、設施之管制與**操作人員資格**間之關係

物質或設施類別	能量或活度	操作人員證照	取得資格	相關子法名稱
1.高強度輻射設施	1.使用加速電壓大於三千萬伏設備之設施。 2.使用粒子能量大於三千萬電子伏設備之設施。 3.使用活度大於一千兆貝克密封物質之設施。	運轉人員 證書	1.領有輻射安全證書或相關執業執照，並 2.完成設施運轉訓練(30h)及運轉操作實務訓練(160h)，且 3.經訓練測驗合格。	高強度輻射設施種類及運轉人員管理辦法。
2.放射性物質生產設施	以電磁場、原子核反應等方法生產放射性物質之設施。	運轉人員 證書	1.領有輻射安全證書或相關執業執照，並 2.完成生產設施運轉訓練(30h)及運轉操作訓練(160h)，且 3.經訓練測驗合格。	放射性物質生產設施運轉人員管理辦法。
3.許可類物質或設備	1.密封物質活度超過豁免管制量100倍。 2.非密封物質活度超過豁免管制量100倍。 3.設備公稱電壓超過150仟伏或粒子能量超過150仟電子伏。	1. 輻射安全證書 ，或 2. 其他經主管機關認可之輻射相關執業執照。	1.接受 36小時 以上輻射安全訓練，取得證明，經主管機關測驗合格。 2.基於教學需要之人員，接受三小時以上輻防講習在校內或機構內，且在合格人員直接監督下操作。	1.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。 2.放射性物質與可發生游離輻射設備操作人員管理辦法。
4.登記備查類物質或設備	1.密封物質活度小於豁免管制量100倍。 2.非密封物質活度小於豁免管制量100倍。 3.設備公稱電壓小於150仟伏或粒子能量小於150仟電子伏。 4.其他經主管機關指定者。	1. 以訓練代替輻射安全證書 ，且 2.限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	1.接受 18小時 以上輻射安全訓練，取得證明者。 2.基於教學需要之人員，接受三小時以上輻防講習在校內或機構內操作。	1.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。 2.放射性物質與可發生游離輻射設備操作人員管理辦法。

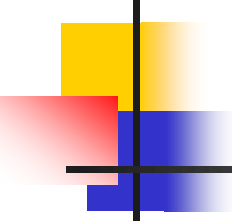
輻防相關證照

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



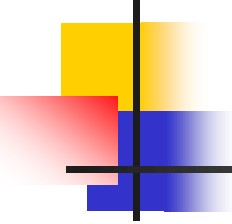
櫃型X光機輻射安全

- 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 $\leq 0.5\mu\text{Sv/hr}$

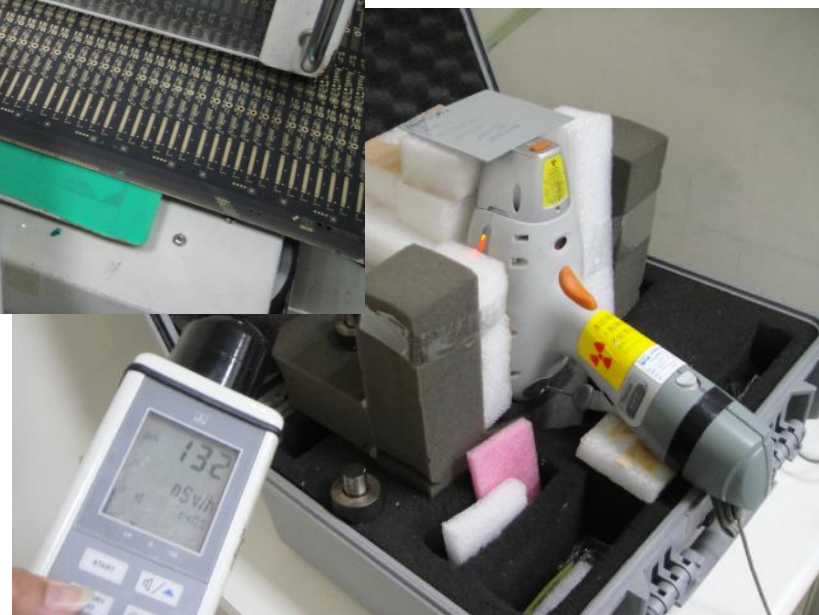
- 一般人之年劑量限度為 $\leq 1\text{mSv/y}$ 。
- 一年工作時數為 2000hr 。
- $1\text{mSv}/2000\text{hr} = 0.5\mu\text{Sv/hr}$ 。
- 管制區外 $\leq 0.5\mu\text{Sv/hr}$ 。



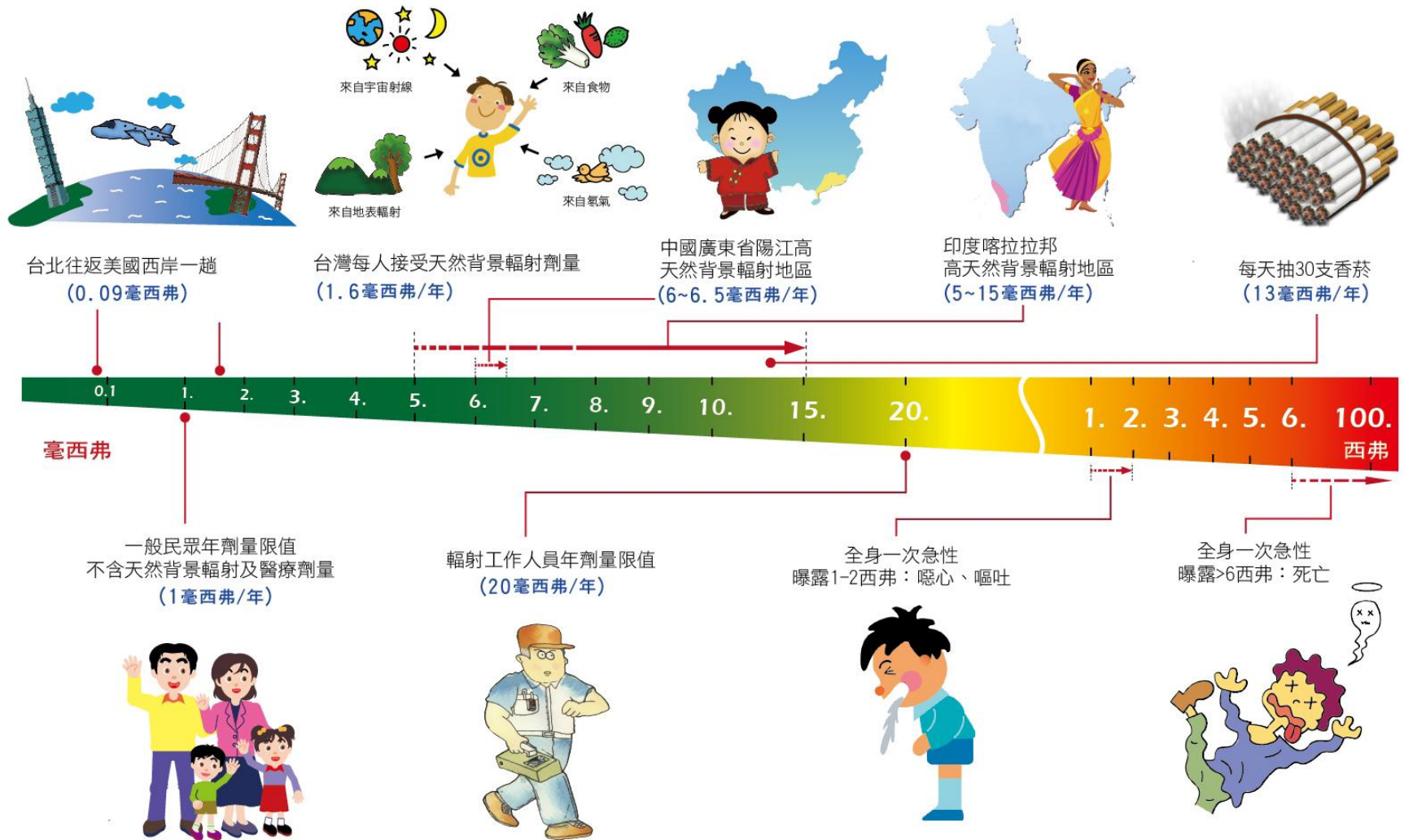
管制區內人員居佔位置 $\leq 10\mu\text{Sv/hr}$

- 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 $\leq 10\mu\text{Sv/hr}$ 。

設備定期輻射劑量率量測



一般游離輻射劑量比較圖



註：1 西弗 = 1000毫西弗

感謝聆聽

