

國立東華大學
108學年度「輻射安全防護」教育訓練

蔡長書

慈濟科技大學

醫學影像暨放射科學系/放射醫學科學研究所

中華民國108年10月26日

國立東華大學

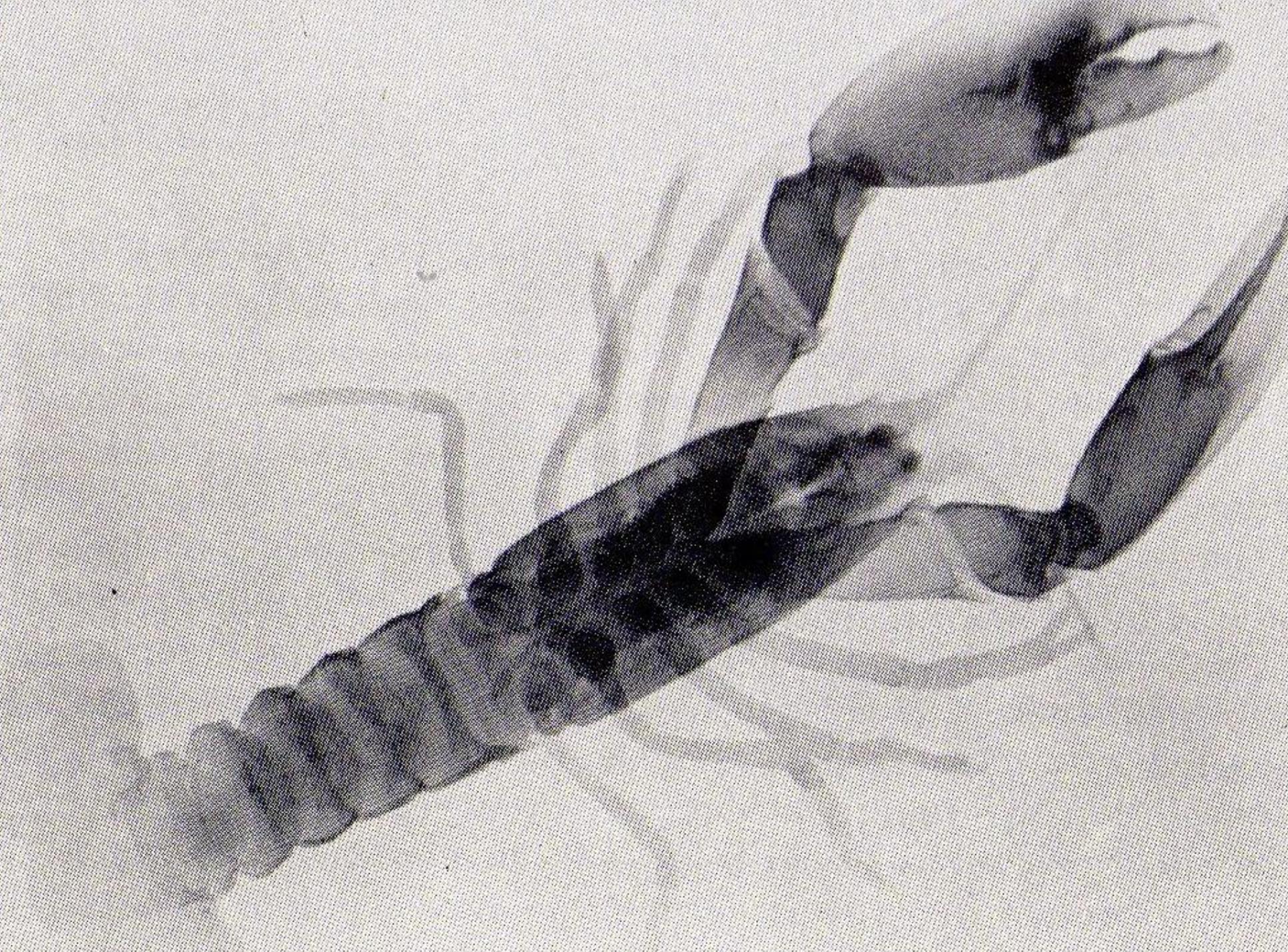
108學年度「輻射安全防護」教育訓練

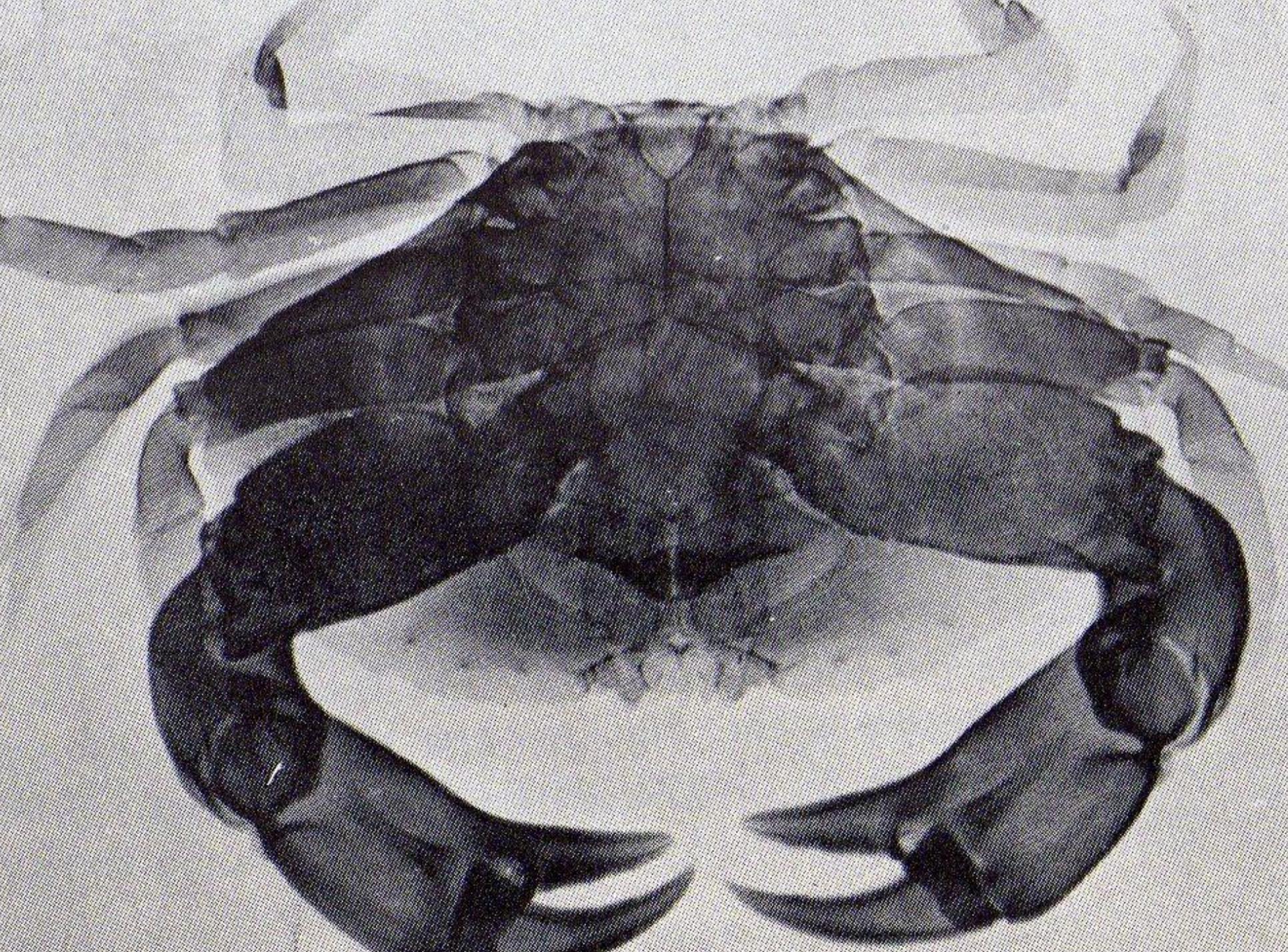
游離輻射之種類、特性、
應用與安全防護

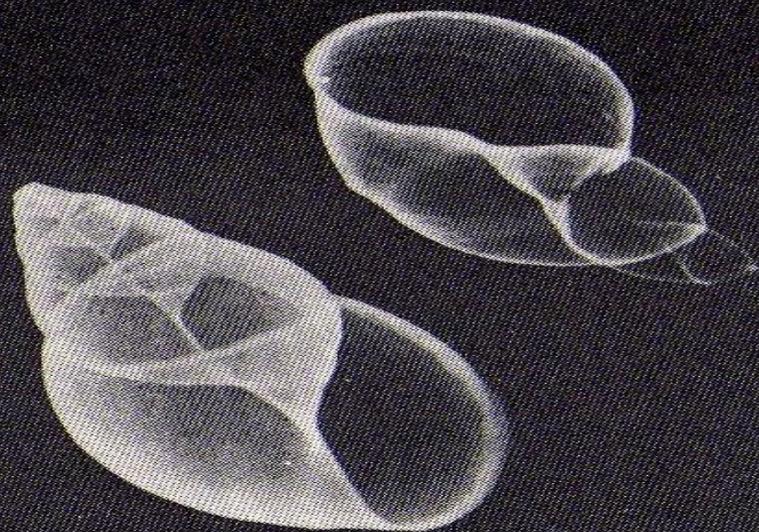
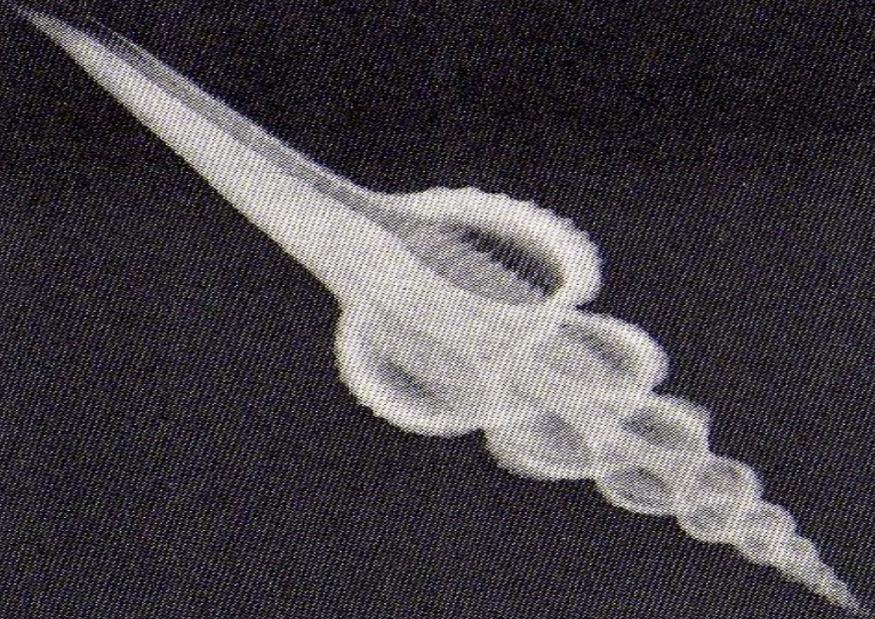
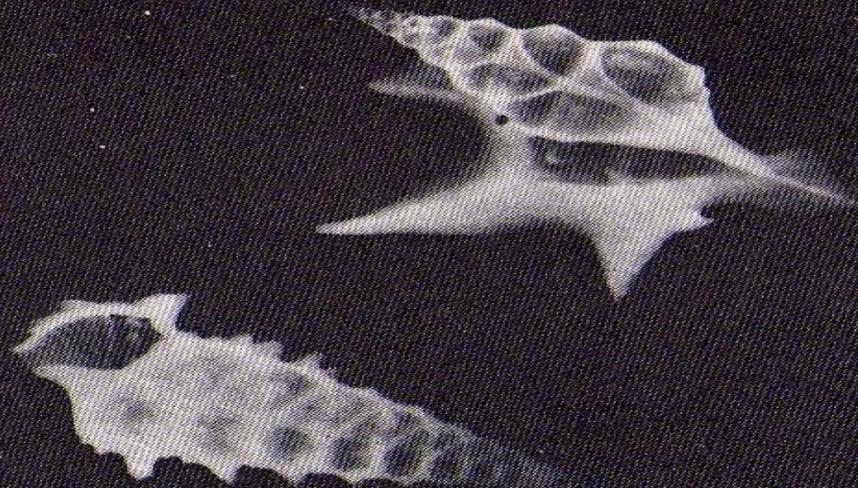
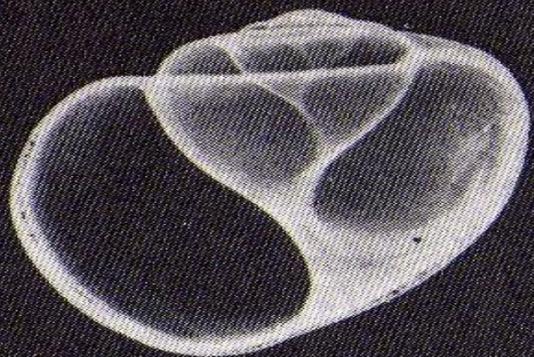
課程綱要

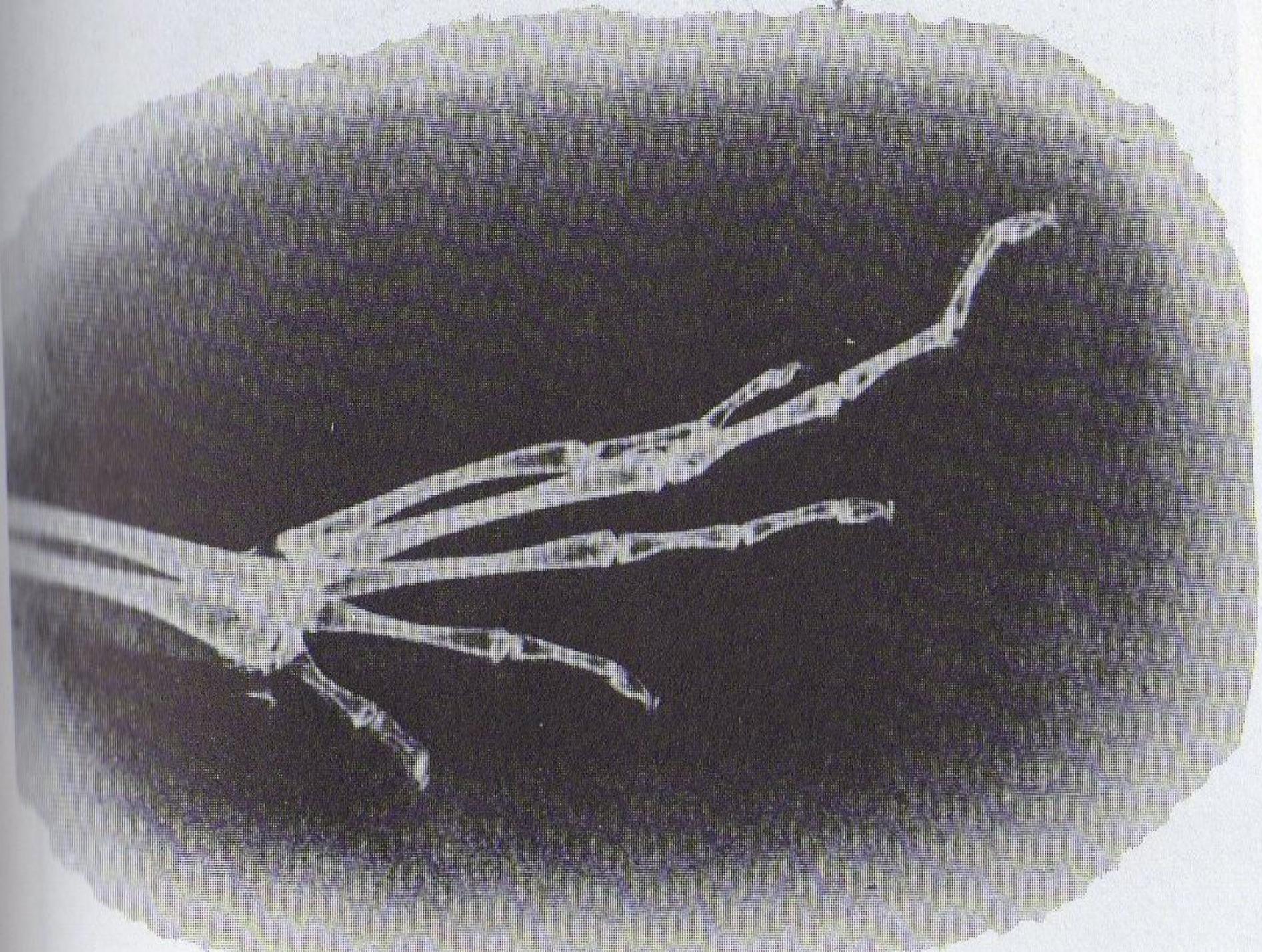
- 輻射是什麼？
- 游離輻射的來源、種類、特性
- 游離輻射的應用
- 游離輻射的偵測與安全防護
- 結語



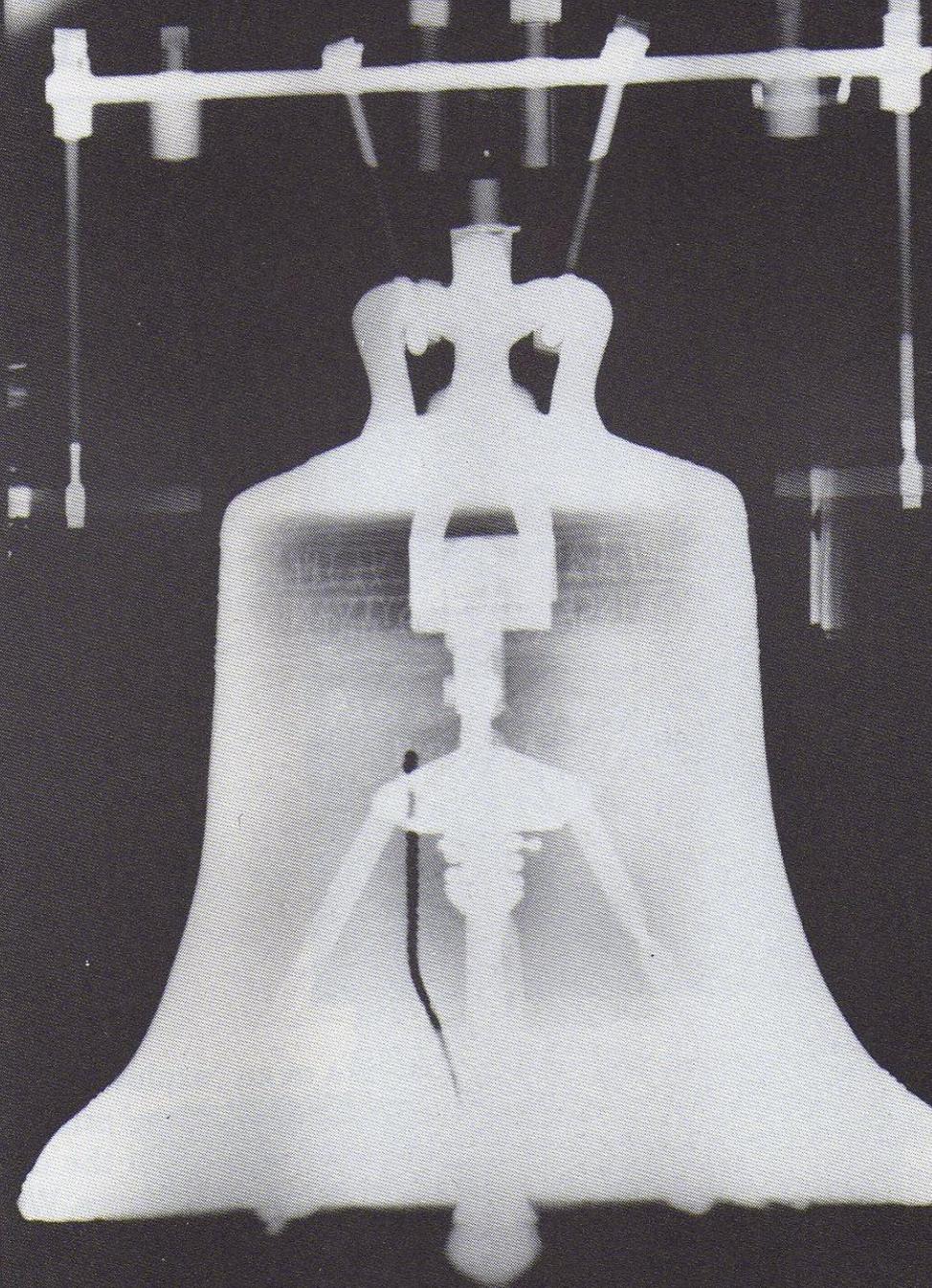
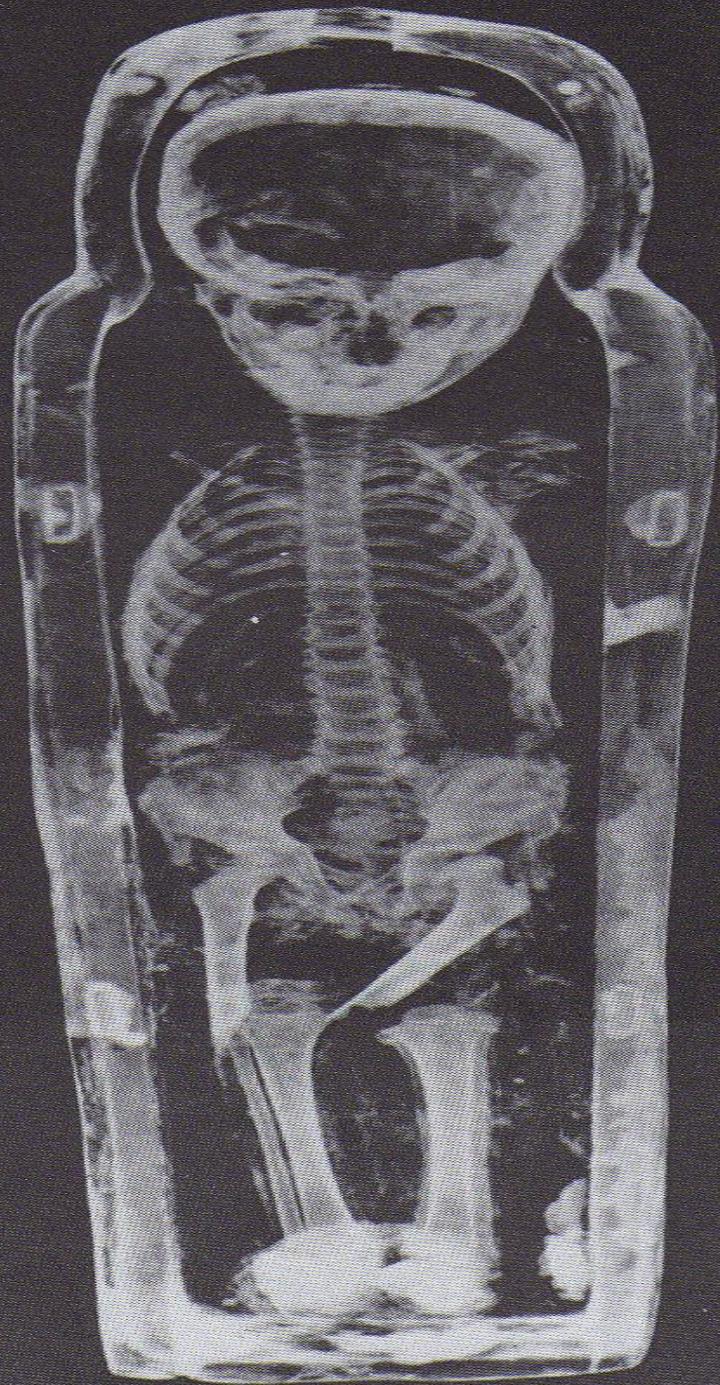


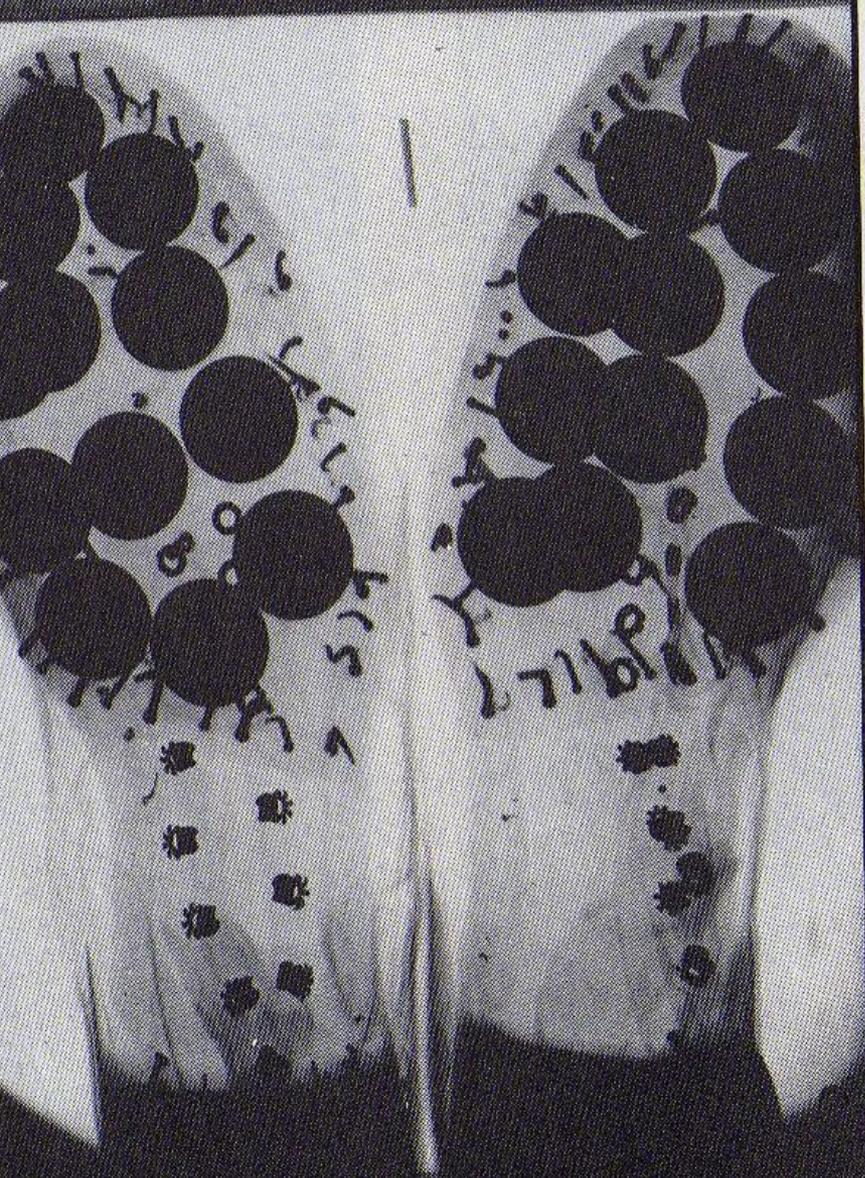








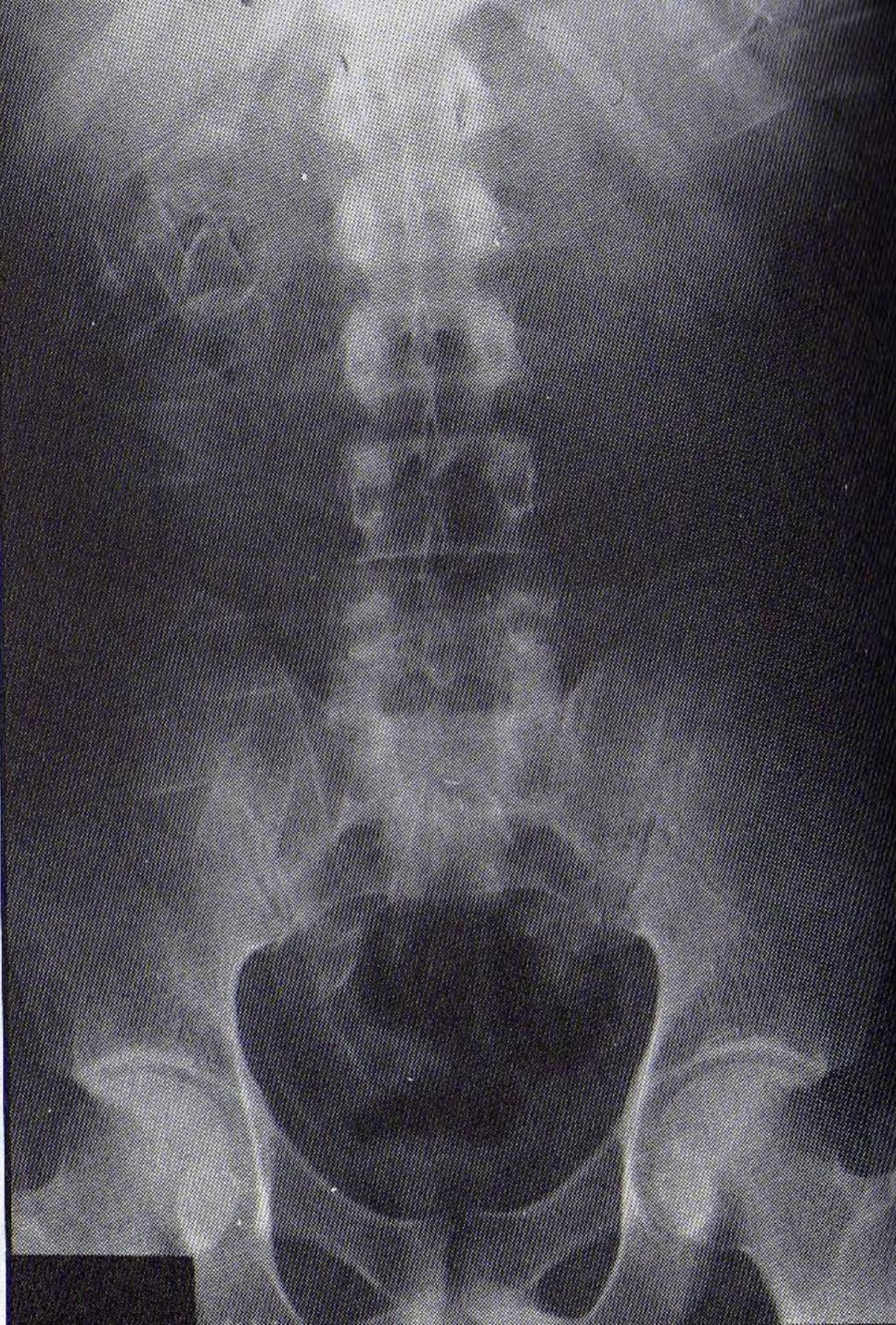




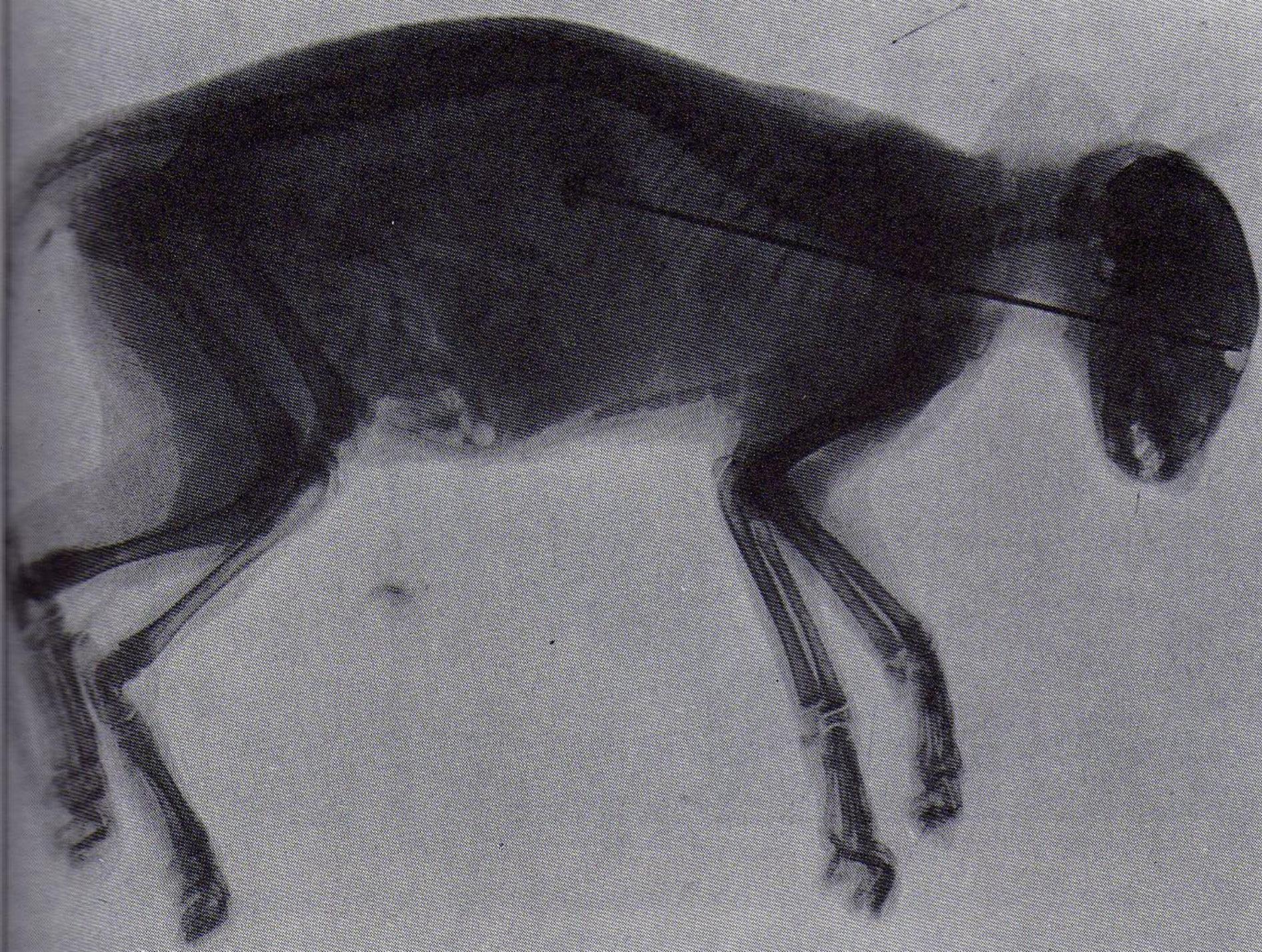
Tatta Noto (Pis)
Date 2/10/50

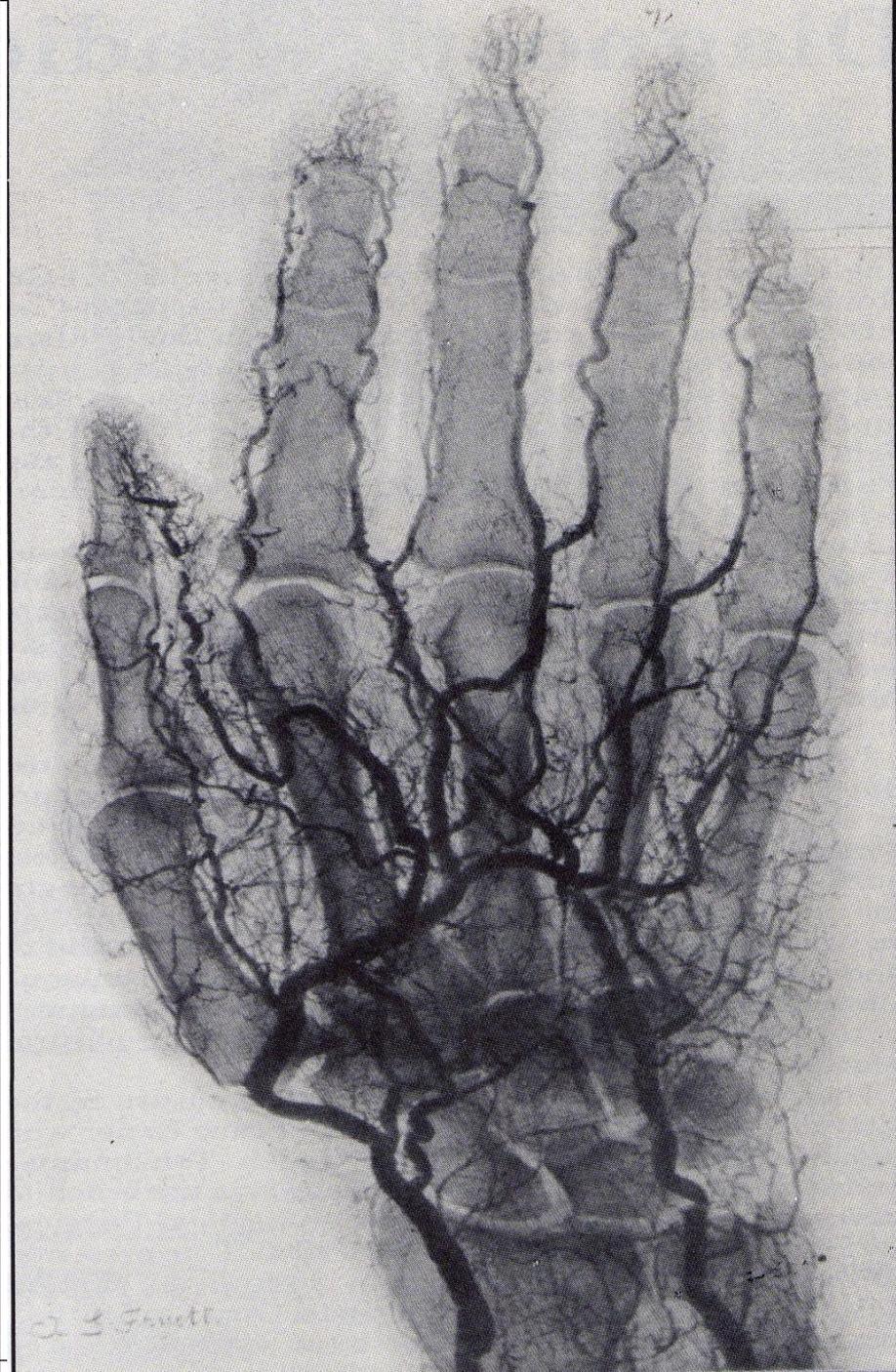
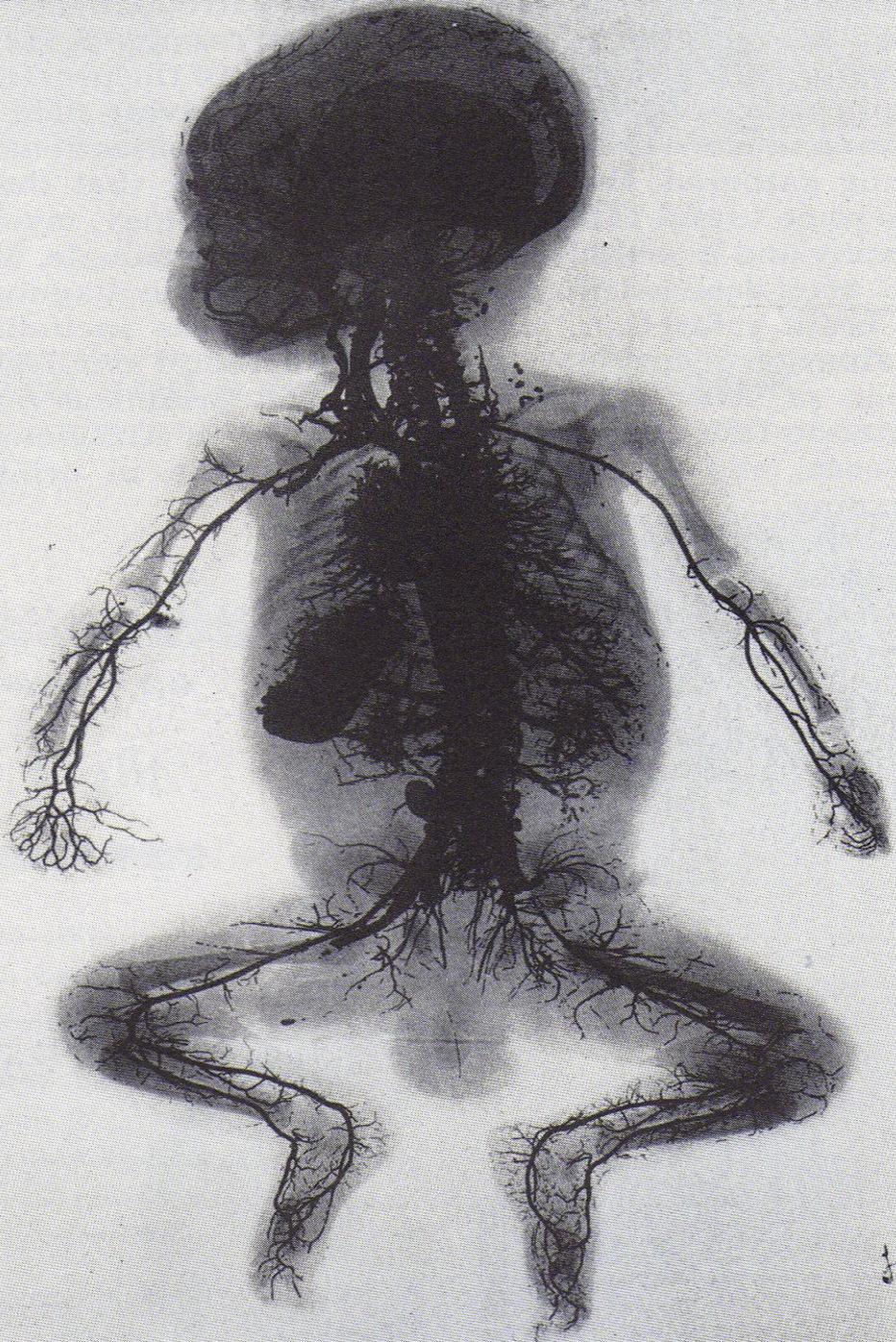
Gold Coins enclosed.

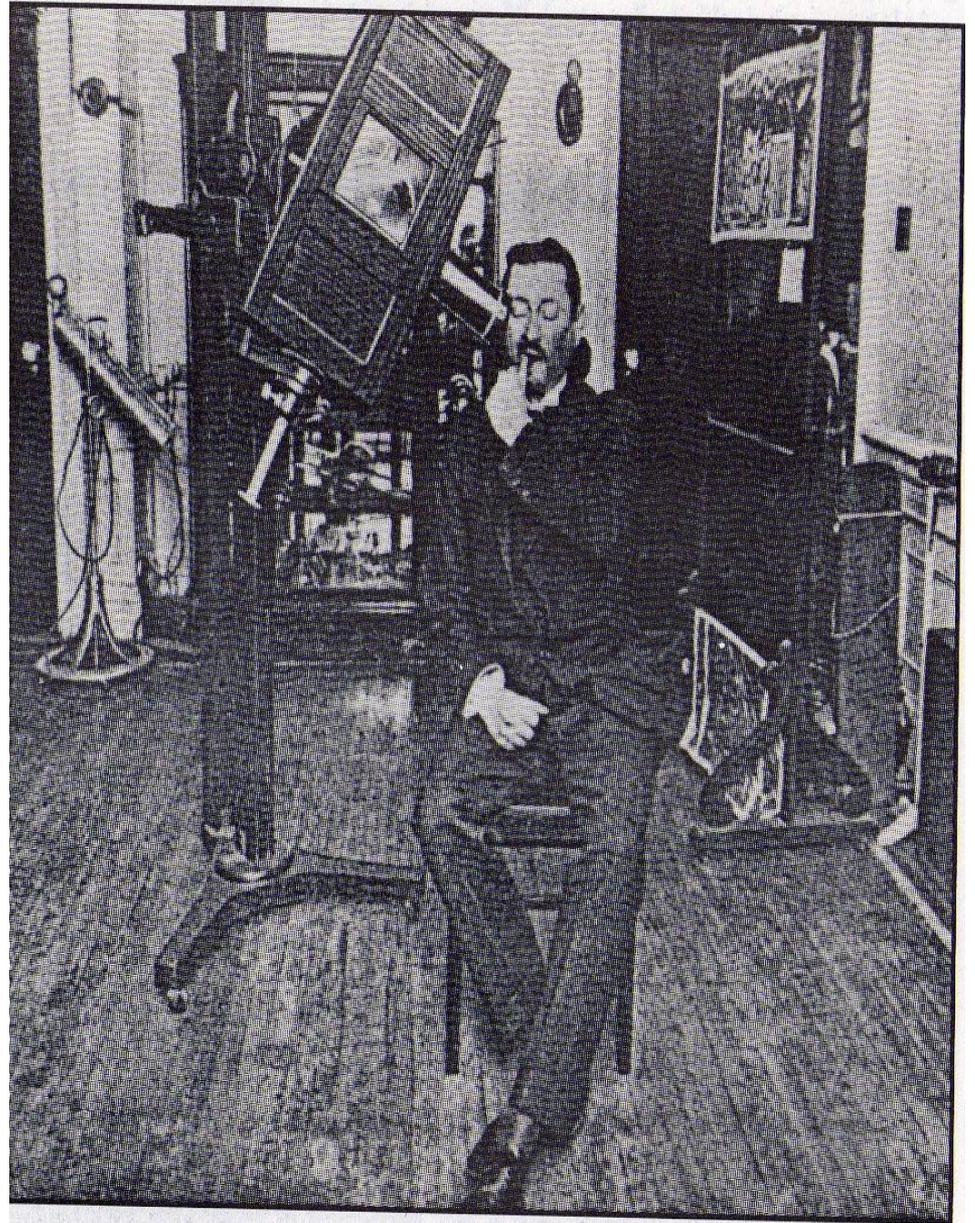
Frank J. Rogers









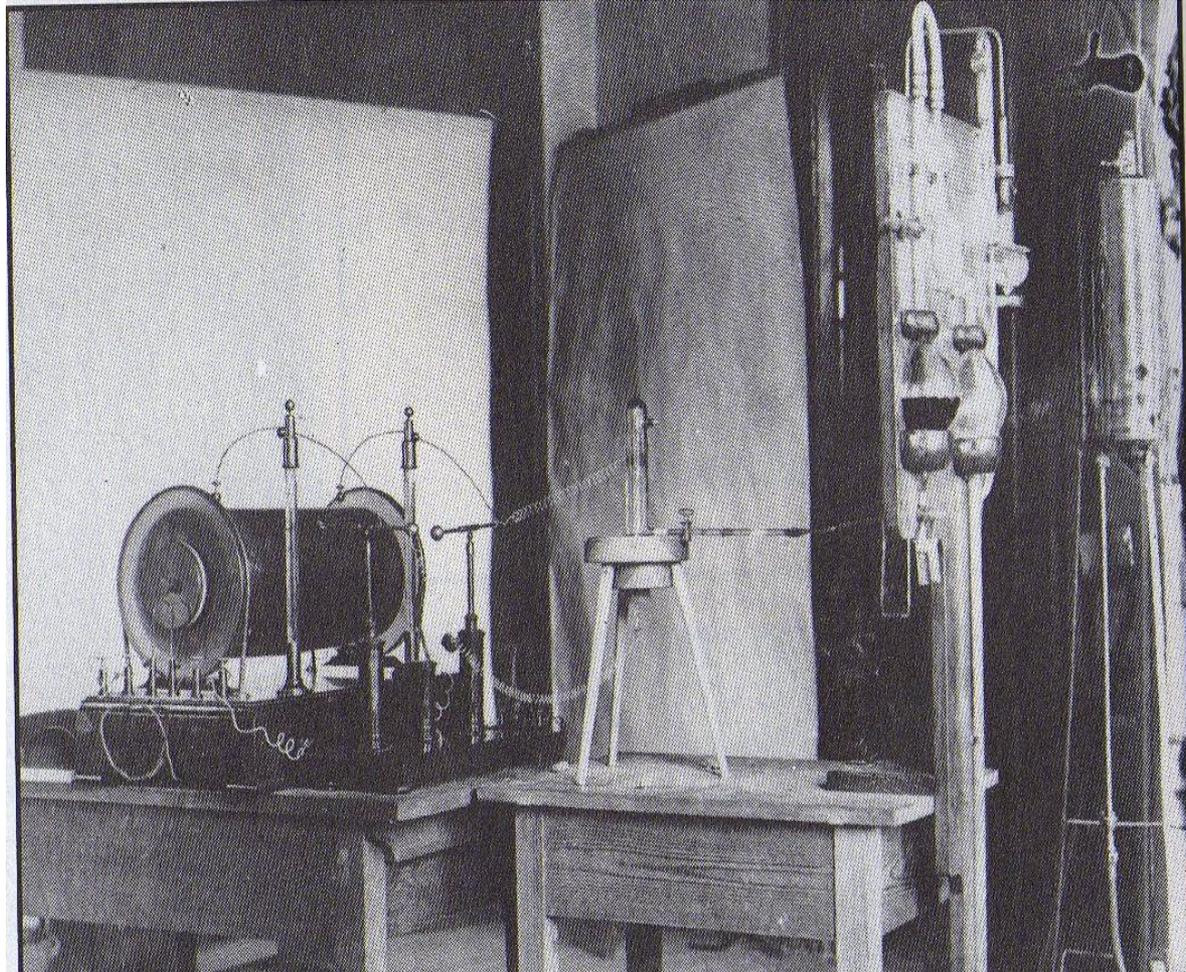




The likeness of Professor Röntgen, taken in 1896, appears in a selection of his scientific papers published by the Deutsches Röntgen-Museum.

The frontage of the Physical Institute, wurzburg, in 1896.



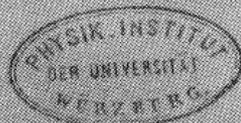


Röntgen's
laboratory in
the University
of Würzburg

Hand mit Ringen S. 2. 4. 14.

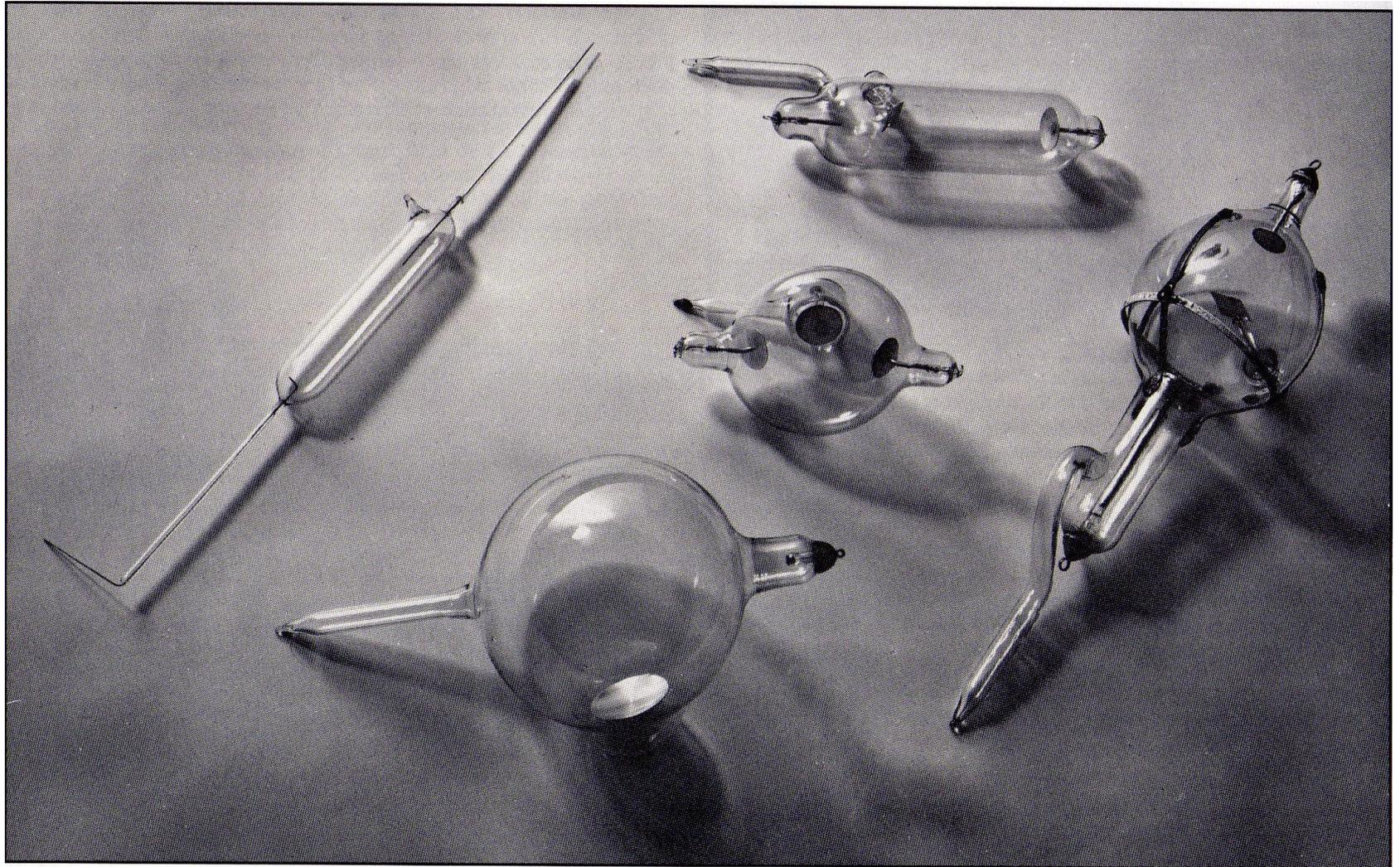


Originalium von Prof. Zehender
Freiburg i/B

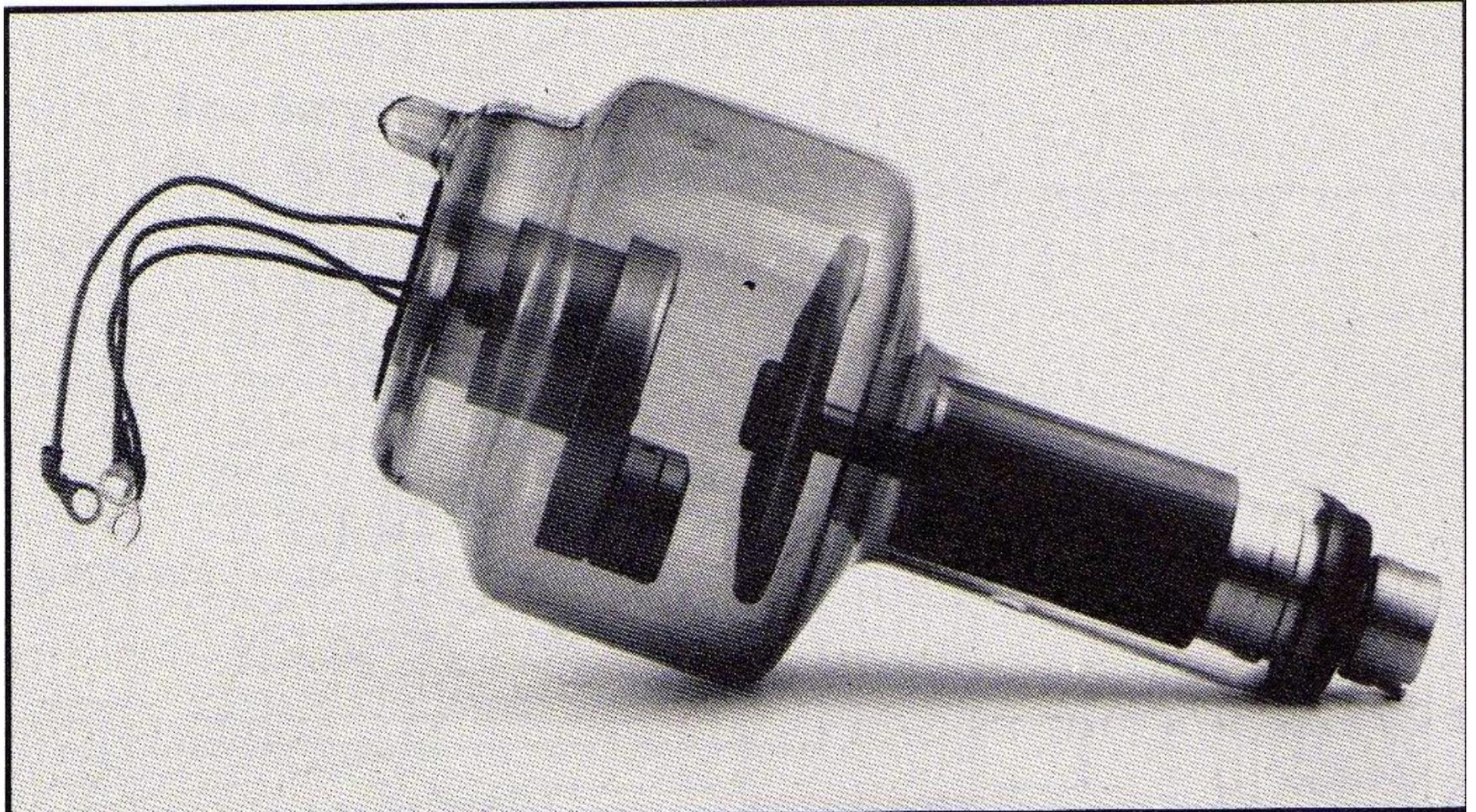


Hand of Frau Rontgen
(Courtesy : Deutsches
Rontgen-Museum.)

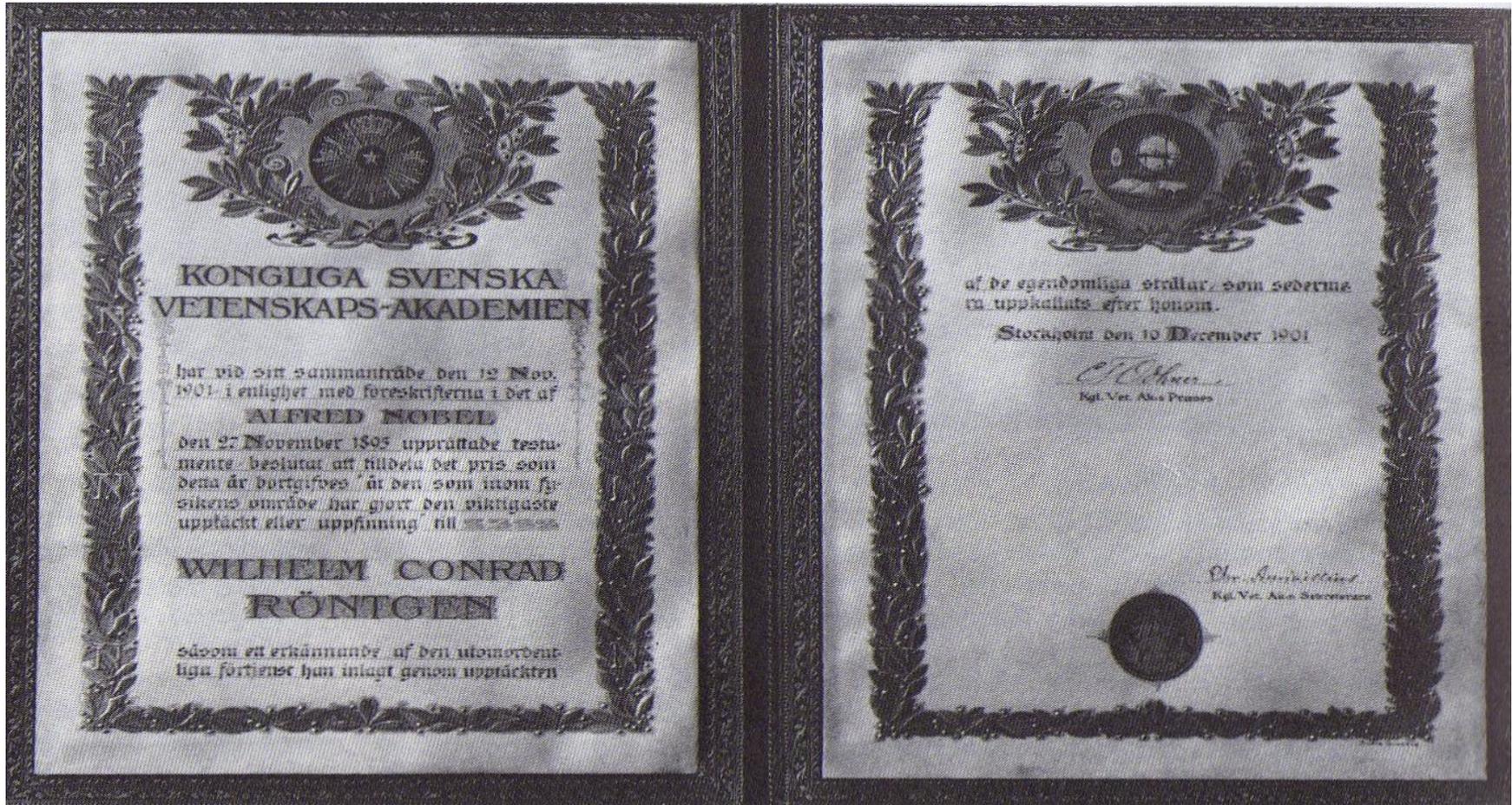
Tubes of different shapes and targets of various metals were tried throughout 1896 but by the end of that year it was established that tube shape was unimportant.



Rotating anode X-ray tube used in 1989 for a Philips diagnostic 150 KV machine.

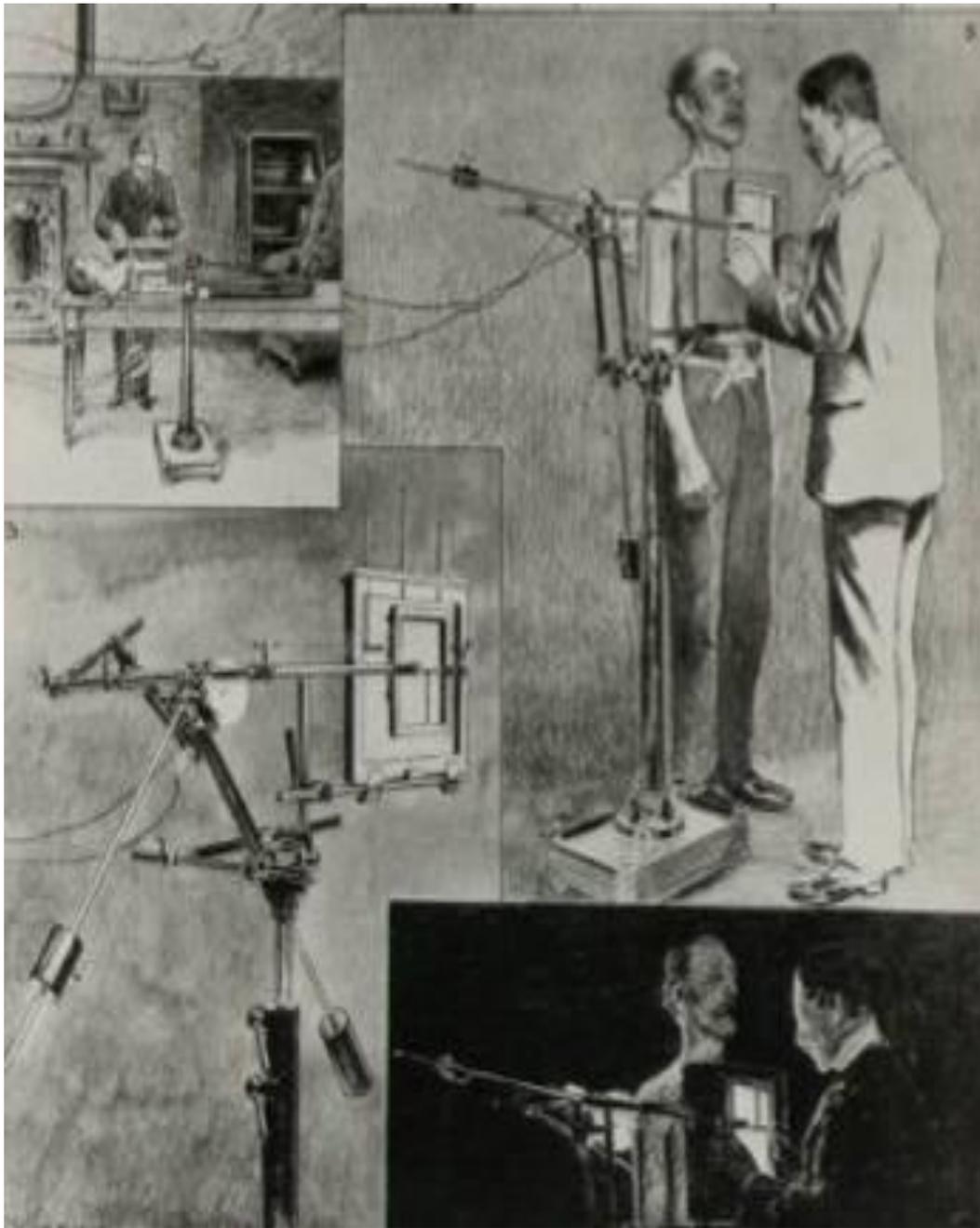


Wilhelm C. Röntgen won the 1st prize in physics in 1901 by his significant contributions on production and characterization of x-rays.



This is the main building of the Deutsches Röntgen-Museum and now contains an extensive radiological collection.





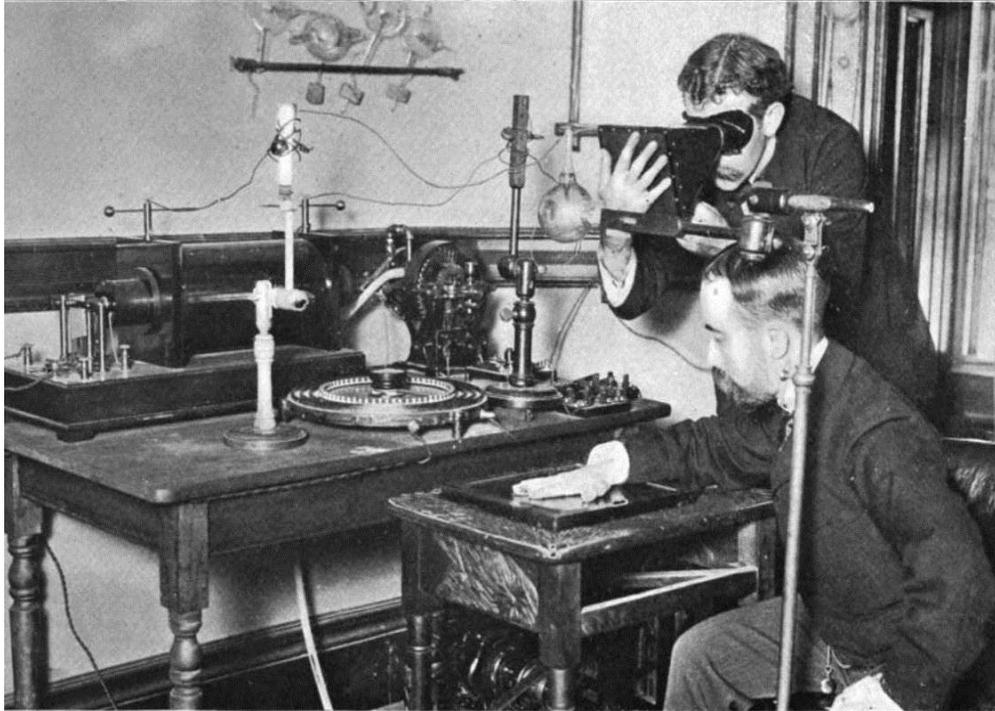
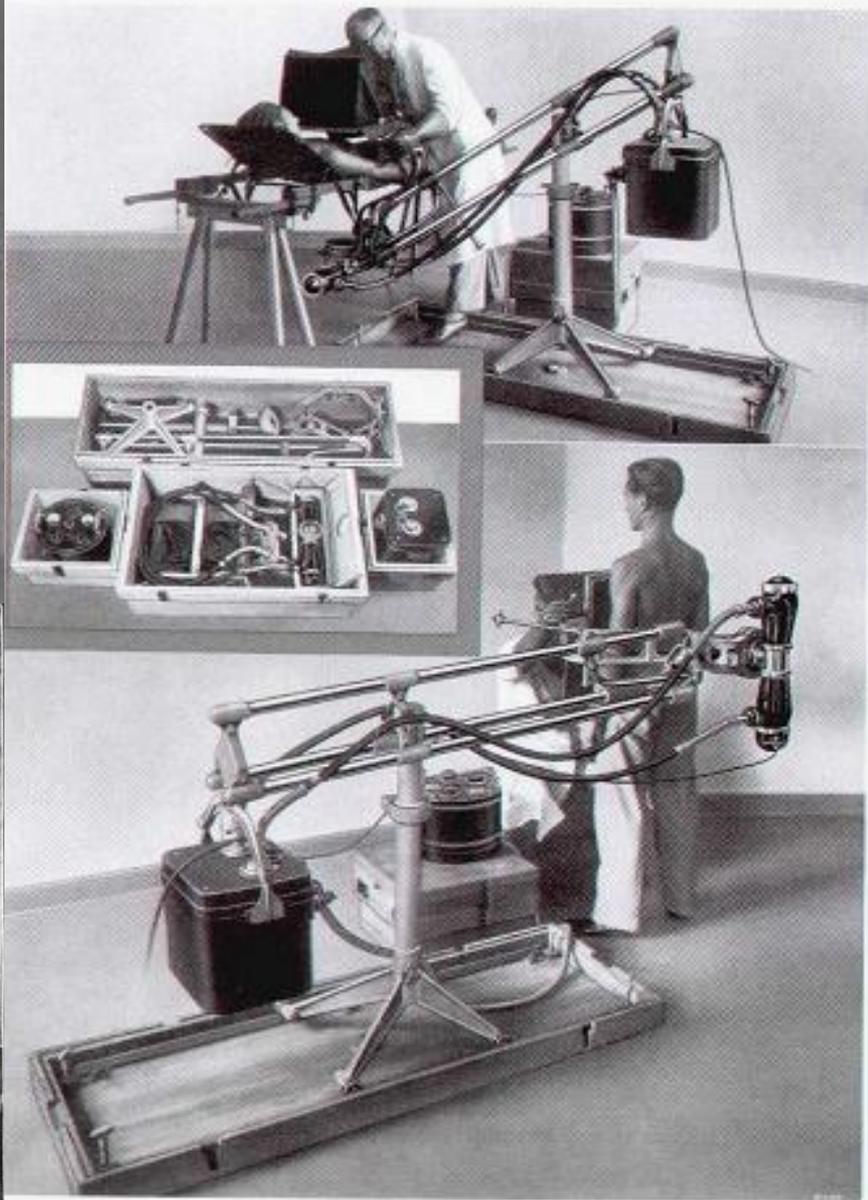
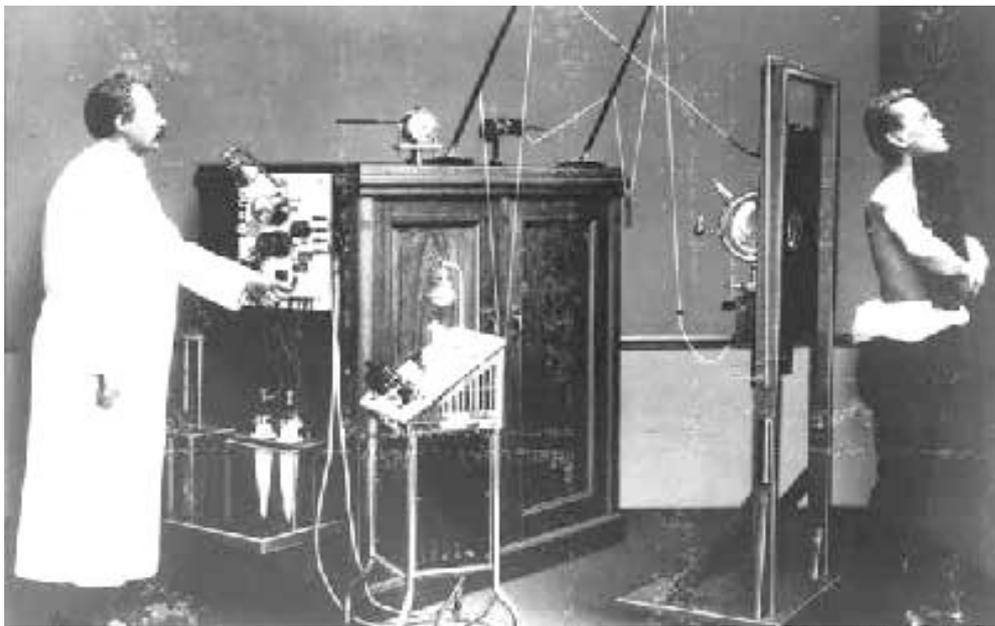


Fig. 68 The transportable Metolix Standard D workstation with a universal stand designed by Dr. Melchert Page from a 1935 catalogue.



SNAKE

URICACAL
CALCULUS

M. TUBERC.

CAVITY L.L.

NORMA
LUNG

APICES

IMP. ANTE

HAZINESS L.L.
INCIP. STAG. TUB.

RENAL CALCUL.

ARTE & VEINS
INJECTED

RÖNTGEN X-RAY LABORATORY of the
MEDICO-CHIRURGICAL COLL. & HOSP. (PHILA. Pa. U.S.A.)

Dr. M. K. KASSABIAN



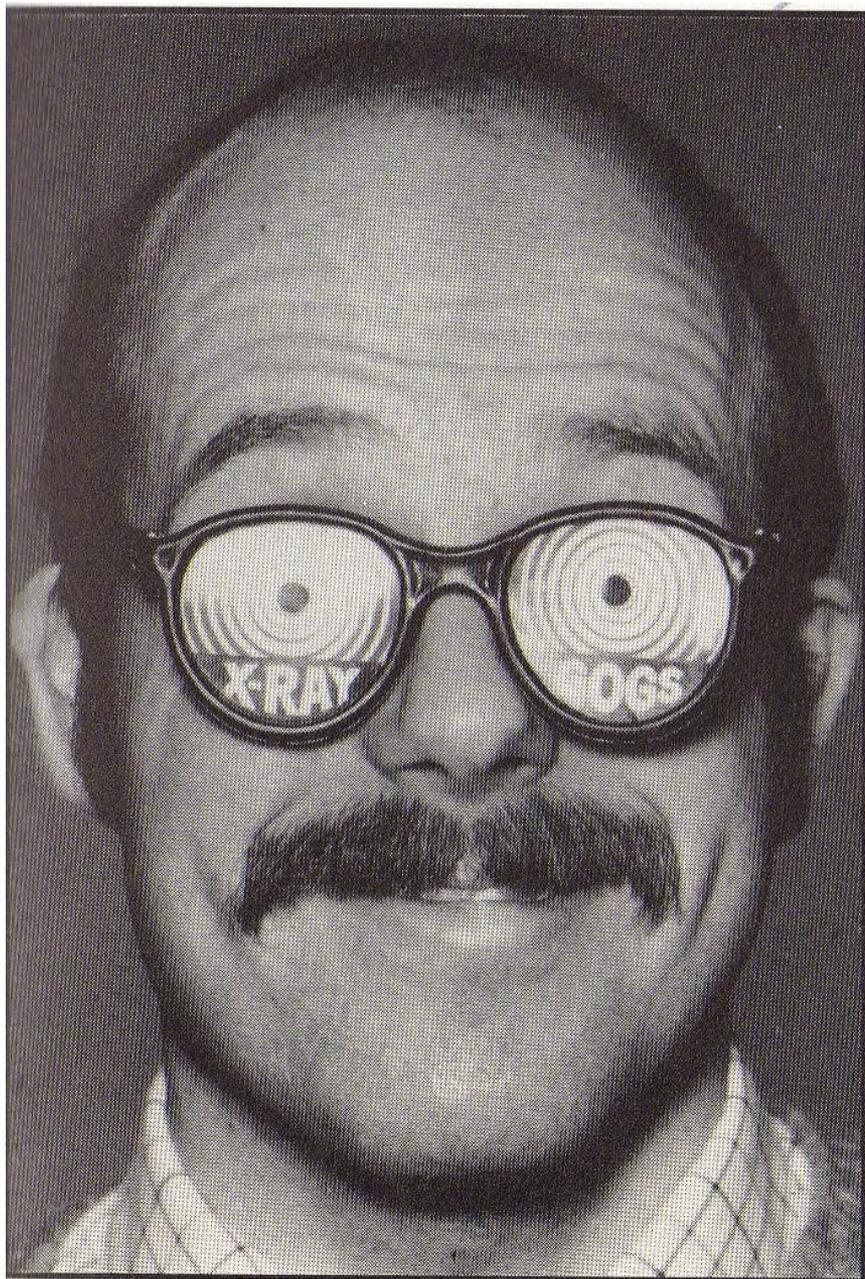
Cartoon from the February 1896 magazine *Life*. Unfortunately the artist got it wrong: X-rays are not reflected back from the subject towards the X-ray tube and photographic plate !

CRÈME
SCIENTIFIQUE

CURATIVE
EMBELLISSANTE

THO-RADIA
à base de thorium et de radium selon la formule du
DOCTEUR ALFRED CURIE
EN VENTE EXCLUSIVEMENT CHEZ LES PHARMACIENS

COGNAC 1932 BOYHARDT & C.



COPYRIGHT TRACOMIN

X-ray 'specs' that give you the amazing illusion to see right through everything you look at! See the bones in your hands, the yolk in an egg, the lead in a pencil and . . . the most amazing things, when looking at girls and friends! Especially amusing at those fun parties!

£1.75 incl. P.&P.

Order soon so as not to be disappointed. C.W.O. to:

**SENE PARK PRODUCTS (SM7)
LAMBERTON HOUSE, SENE PARK,
HYTHE, KENT CT21 5XB.**



**Pierre and Marie
Curie , 1904.**

**Marie and Pierre Curie
discovered the element
Ra “radium” and
Po“ polonium ”.**

Marie curie at the wheel of her radiological
"car" in Hoogstade, belgium, 1915.



National heroine : Marie Sklodowska-Curie (1867-1934) is commemorated on this Polish banknote of 1989 and, more than any other scientist, on postage stamps from many countries.



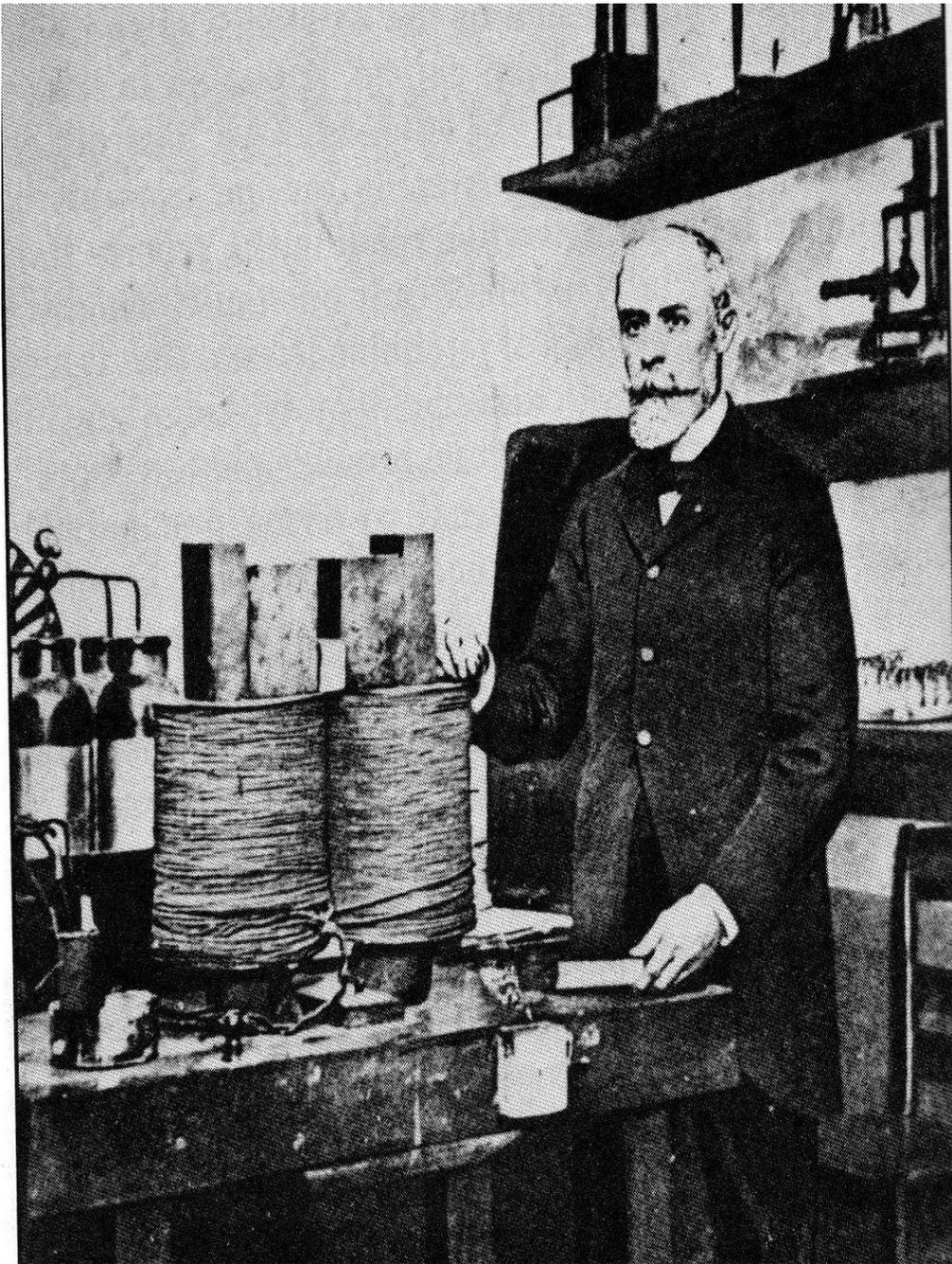


The Fifth Solvay Conferenc, 1927, showing Marie Curie three places from the left on the front row.



A. PICCARD E. HENRIOT P. EHRENFEST Ed. HERZEN Th. DE DONDER E. SCHRÖDINGER E. VERSCHAFFELT W. PAULI W. HEISENBERG R.H FOWLER L. BRILLOUIN
 P. DEBYE M. KNUDSEN W.L. BRAGG H.A. KRAMERS P.A.M. DIRAC A.H. COMPTON L. de BROGLIE M. BORN N. BOHR
 I. LANGMUIR M. PLANCK Mme CURIE H.A. LORENTZ A. EINSTEIN P. LANGEVIN Ch.E. GUYE C.T.R WILSON O.W. RICHARDSON

Absents : Sir W.H. BRAGG, H. DESLANDRES et E. VAN AUBEL



Antoine Henri

Becquerel

The discovery of radioactivity was made in Paris on March 1st 1896 by Antoine Henri Becquerel, a Professor of Physics, when he developed photographic plates upon which he had placed crusts of the double sulphate of uranium and potassium a few days previously.

19世紀影響人類社會 最偉大的三大發現：

電子、X光及放射性
(Electron、X-ray and
Radioactivity)

■ 輻射(radiation)是甚麼？

輻射是一種能量(energy)的發射(emission)與傳遞(transmission)。

- 自有宇宙以來，即有各式各樣不同能量與型態的輻射，環繞伴隨在我們生活的空間且與我們生活息息相關。
- 輻射本身無色、無味、無形，故看不到、摸不著、感覺不出，它的型態可以是電磁輻射(電磁波)如 x-ray、 γ -ray 或粒子輻射如 α 粒子或 β 粒子等。

■ 輻射的種類：

一般依其能量的大小，可分為
游離輻射(ionizing radiation)及非
游離輻射(non-ionizing radiation)
，在實用上，兩者區別以10 keV 能
量作為分界點。

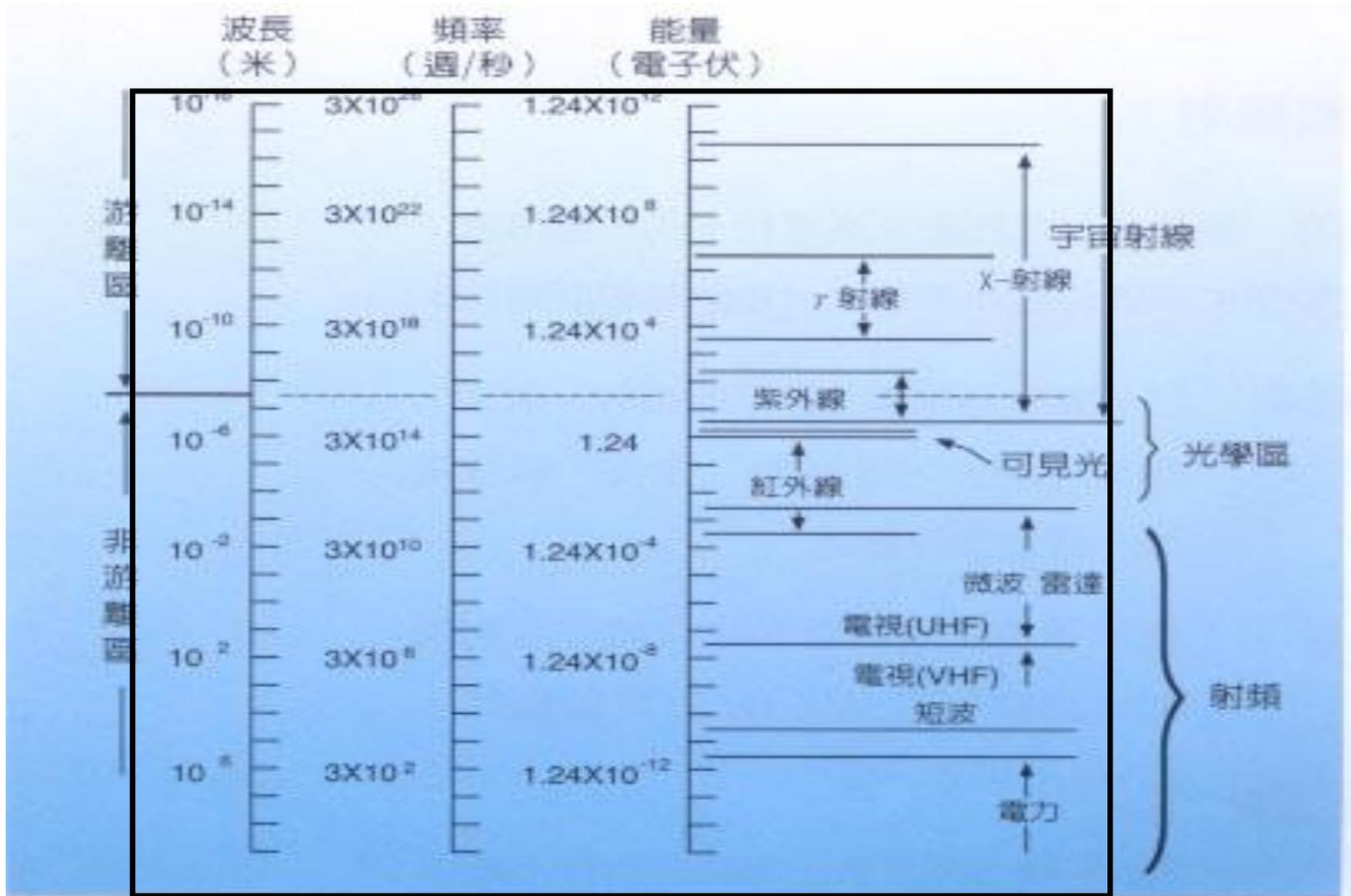
■ **游離輻射(ionizing radiation) :**

指直接或間接使物質產生游離作用之電磁輻射或稱為電磁波(如宇宙射線、X射線、加馬射線)或粒子輻射(如阿伐、貝他、中子、高速電子、高速質子及其他粒子)，簡稱輻射。此部份，在醫院通稱為放射線。

■ **非游離輻射(non-ionizing radiation) :**

依能量大小，主要包含紫外光、可見光、紅外光
微波、雷達波、電視電波、廣播電波、電力波
等。此部分即社會大眾所認知的一般電磁波。

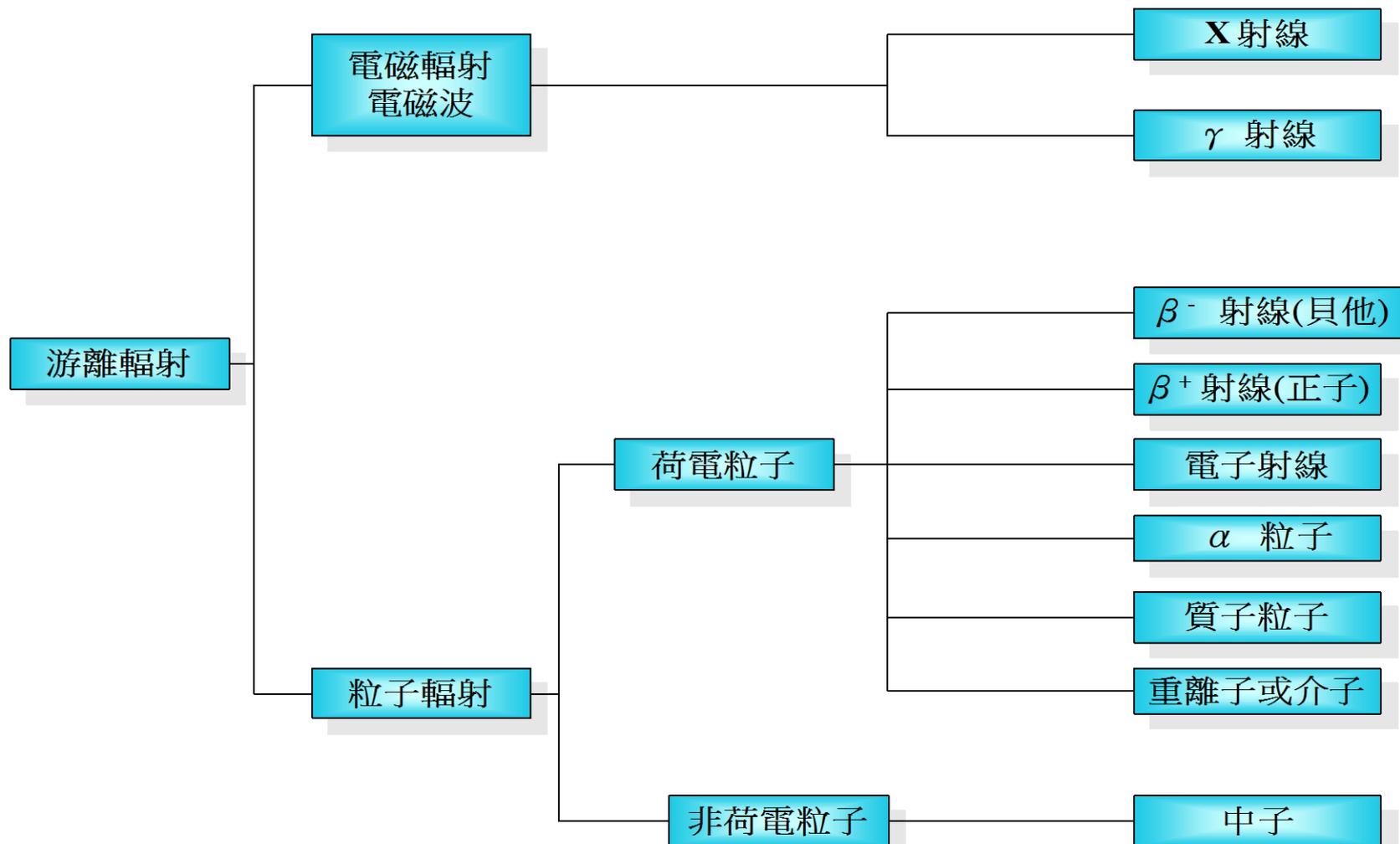
游離輻射與非游離輻射之分野



電磁輻射能譜圖

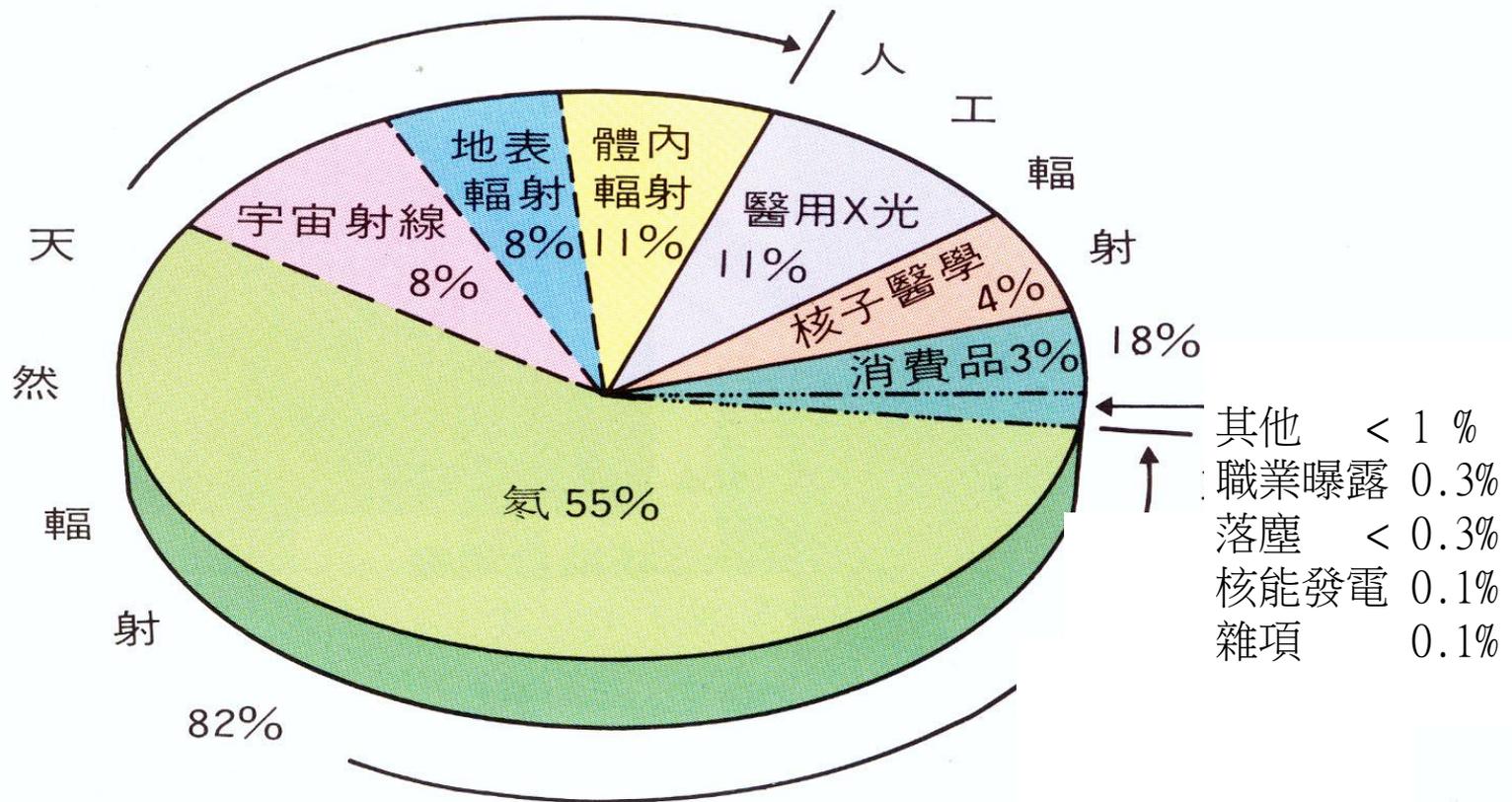
游離輻射是指直接或間接使物質產生游離作用之電磁輻射或粒子輻射。

游離輻射的種類：



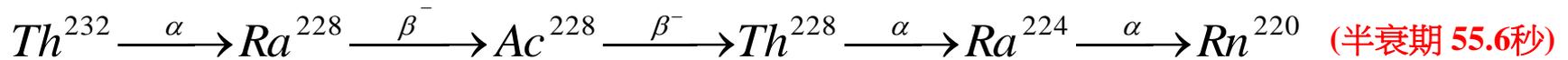
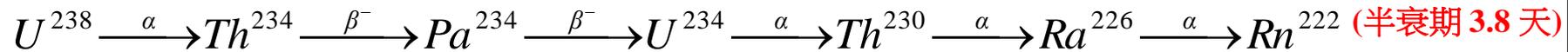
生活中的游離輻射來源

一般民眾接受天然與人造輻射來源分佈圖



天然輻射

A. 氡氣—天然放射性氣體(α 放射性核種) ,
為鈾和釷的子核種。



- ▶ 地表土壤及岩石中都含有少量的鈾和釷，建材亦多為土壤和岩石之製品，氡氣因此長存於居住環境中，為天然輻射之最大來源。
- ▶ 密閉坑道、通風不良之居處環境，易造成氡氣濃度之累積。富含鈾或釷礦床之地區，氡氣濃度也較高。

B. 體內的天然輻射-主要為鉀-40(^{40}K)

- ▶ 人體體重約含0.2 %的鉀，其中0.012%的鉀-40(半衰期 1.28×10^9 年)為 β^- 放射性核種。

- ▶ 人類的食物來源中，魚、蔬果、牛奶、肉類和五穀也或多或少含有鉀-40。



C. 宇宙射線

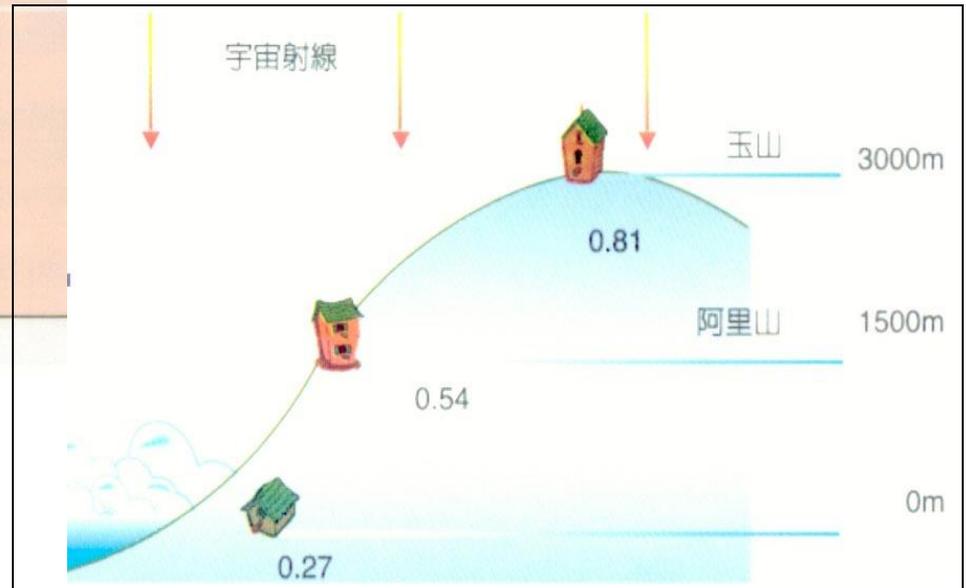
高空飛行可能接受之宇宙射線劑量



航線 (往返)	接受劑量 (微西弗)
台北 = 紐約	156
台北 = 阿姆斯特丹	99
台北 = 洛杉磯	93
台北 = 約翰尼斯堡	72
台北 = 雪梨	48
台北 = 新加坡	15
台北 = 金門	0.67
台北 = 高雄	0.48
台北 = 台南	0.23
台北 = 蘭嶼	0.13
高雄 = 馬公	0.07

註：1000 微西弗 = 1 毫西弗

平地與高山可能接受之宇宙射線劑量

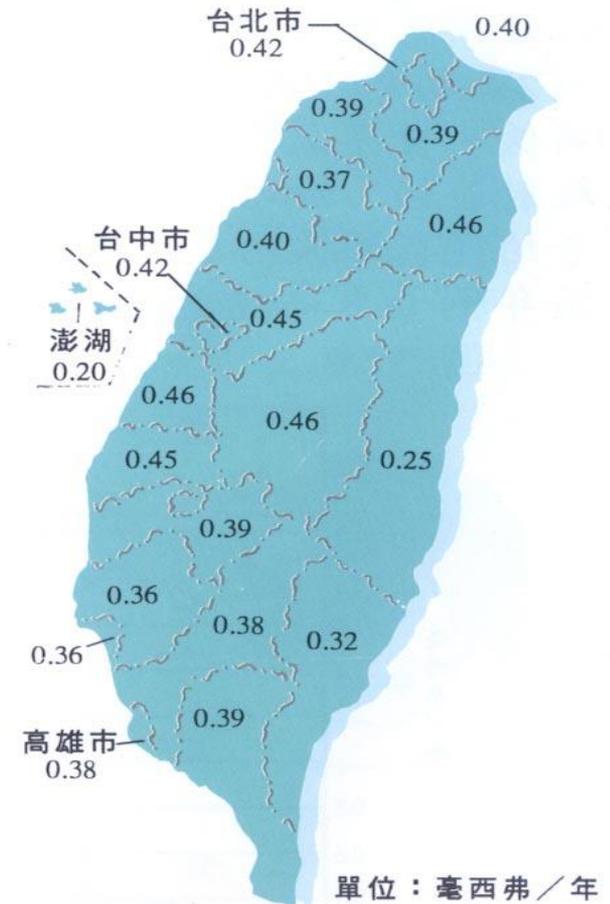


D. 地表輻射

- ▶ 地表的土壤及岩石含有天然放射性核種- 鈾、鈾、鉀-40 及鈾、鈾之衰變核種。
- ▶ 不同地區可能因地質型態之不同，而具有度不同的地表輻射背景劑量

台灣地區建材之放射性含量

建材種類		放射性核種活性(3.7×10^{-2} Bq/g)		
		鉀-40	鈾-238系列	鈾-232系列
紅	磚	14.89	0.80	1.21
鑽	磚	18.16	1.12	1.62
磁	磚	29.76	1.93	2.47
空	心 磚	13.51	0.35	0.78
砗	砗	10.78	0.48	0.85
石	棉 瓦 片	12.11	1.45	1.51
白	砂	0.71	0.11	0.10
黑	砂 石	3.90	0.11	0.29
黏	土	1.97	0.17	0.21
混	凝 土	5.58	1.06	0.46
水	泥 (A)	10.00	1.73	0.78
水	泥 (B)	6.01	1.87	0.65



台灣地區地表輻射年劑量

人造輻射

A. 醫療輻射

醫用X光、放射性治療、核醫藥物.....

B. 工業輻射

核能發電、非破壞性檢驗、厚度計、
密度計、液位計...

C. 民生用品輻射

夜光表、煙霧偵檢器、肥料...

人員證照審查

● 操作人員

● 輻射安全證書

- 訓練班36小時 + AEC測驗及格者 = > AEC發證書。
- 每6年換證 (36小時訓練) 。
- 可操作許可類、登記類之設備或物質。
-

● 訓練取代證書

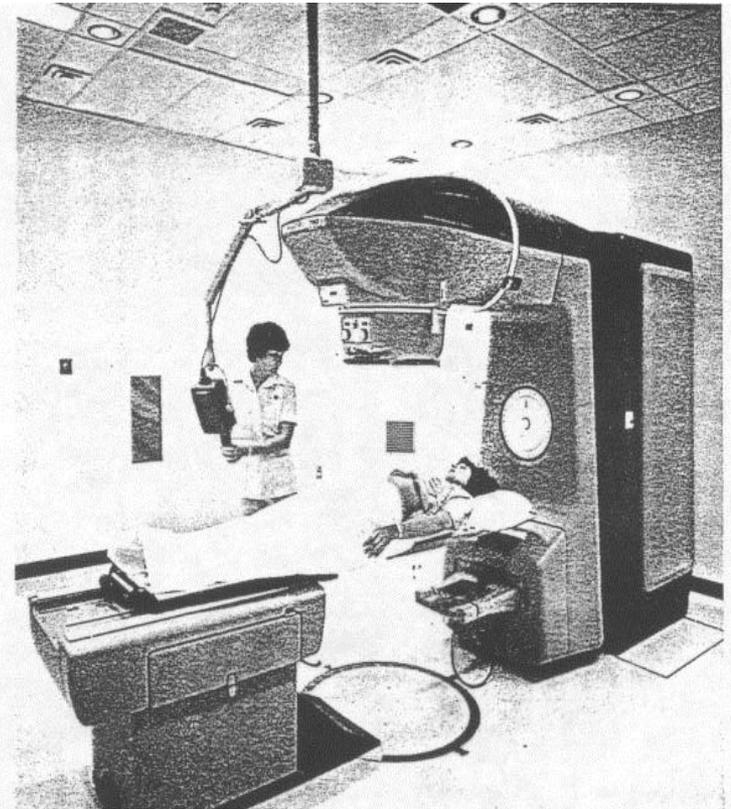
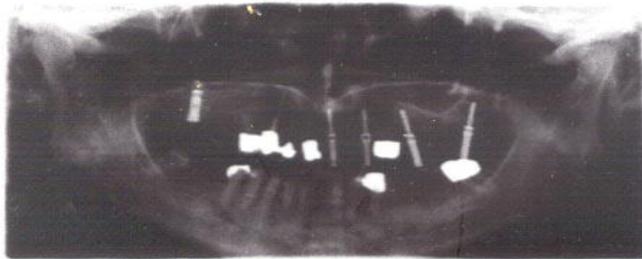
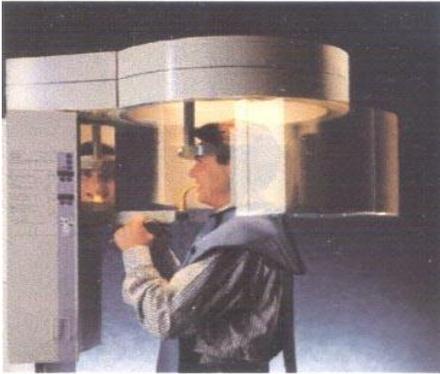
- 設施經營者或訓練班18小時及格者 = > 授課單位發證書。
- 不需換證(終生有效) 。
- 僅可操作登記類之設備或物質
 - 醫療院所之設備及物質，除了放射治療及核醫外，均為登記類。

輻射的應用

醫療應用- 醫用X光、放射性治療、核醫藥物

進步型數位全口與矯正 X 光

ORTHOPHOS Plus DS



eratron 780. Courtesy of Atomic Energy of Canada.

X光的應用



X光繞射儀



行李檢查x光機



醫用可發生游離輻射設備

• 放射治療

– X光

- 直線加速器
- 電腦斷層治療儀
- X光刀
- 電腦刀
- 模擬定位
- 3D電腦斷層定位儀

– 加馬射線

- 加馬刀 / 鈷-六十
- 遙控後荷治療

– 貝他射線(核子醫學)

- 碘131治療 錒89骨癌姑
息性治療 鐳223攝護腺癌
骨轉移

– 質子治療/ 重粒子治療

• 放射影像診斷

– X光

- 一般X光機
- 心導管攝影(c-arm類)
- 乳房攝影(Mammography)
- 牙科X光機(Dental)
- 電腦斷層掃描儀(x-CT)
- 骨質密度檢查(BMD)
- 泌尿科碎石機
- 透視攝影檢查

– 加馬射線(核子醫學NM)

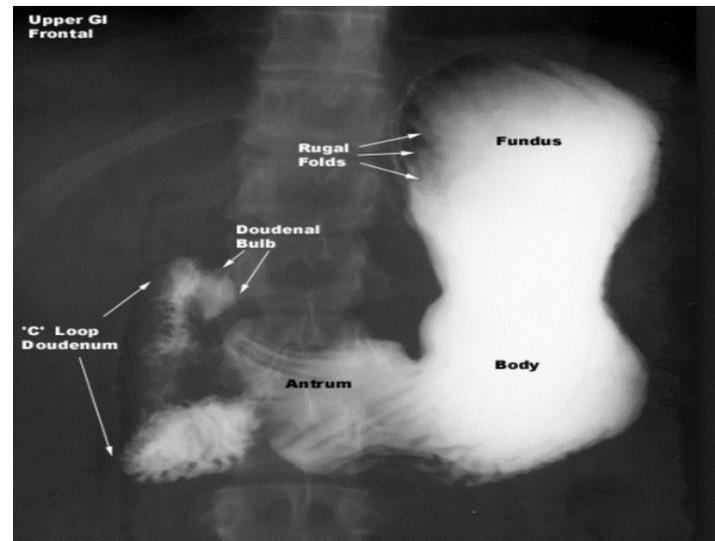
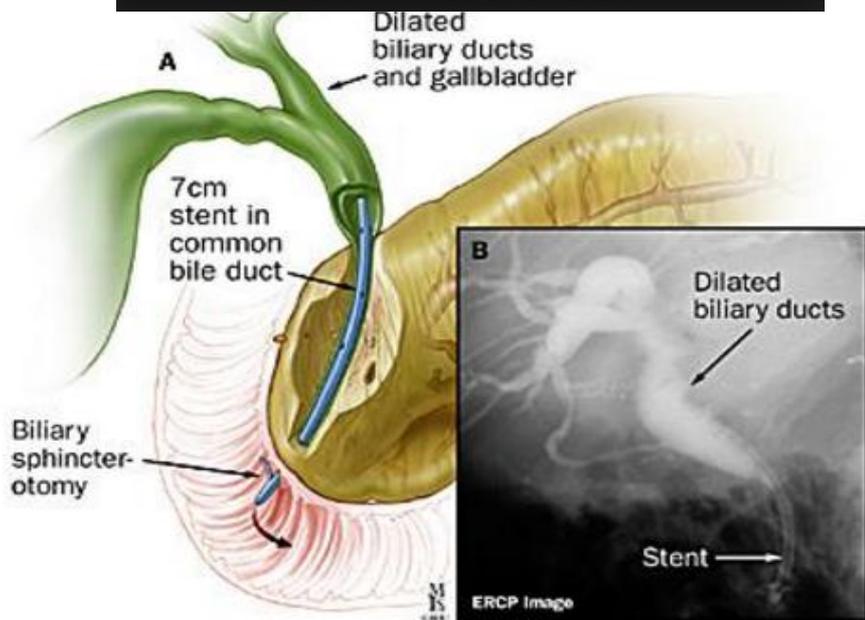
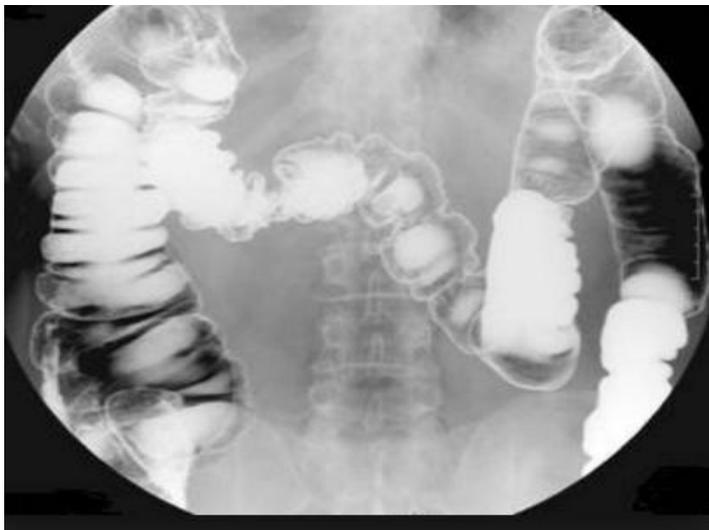
- 骨骼掃瞄
- 正子攝影
- 心臟攝影
- 腦中樞神經

一般X光機類

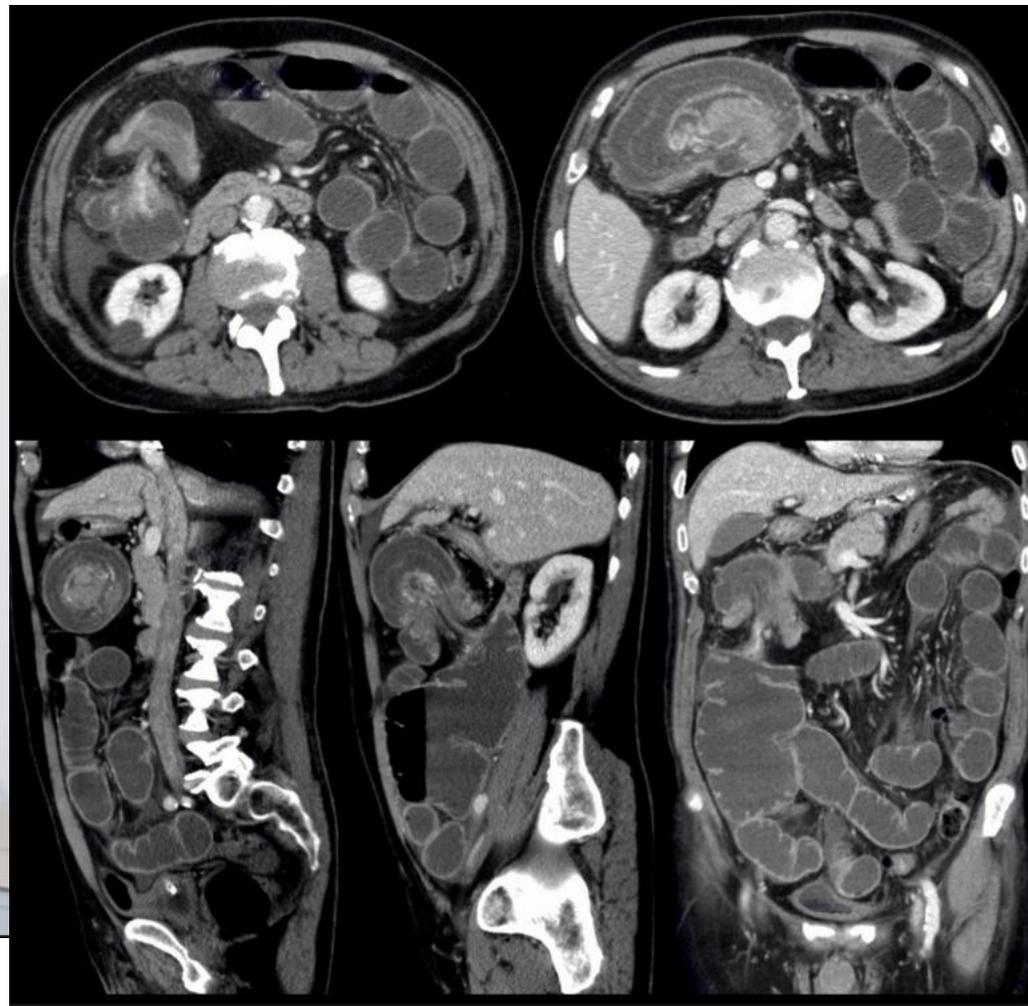
- 最高能量：150keV
- 最高管電流：600mA
- 功能：醫學影像診斷



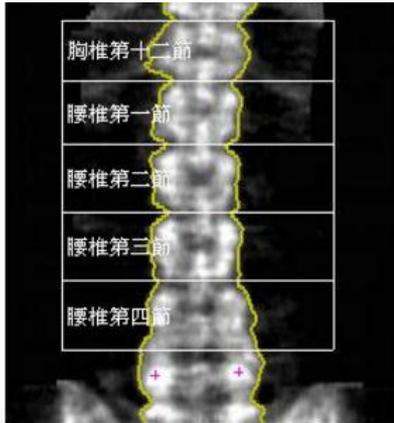
一般透視X光機



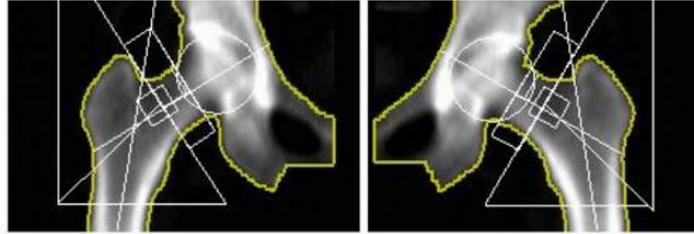
3D電腦斷層掃描儀



骨質密度檢查儀BMD

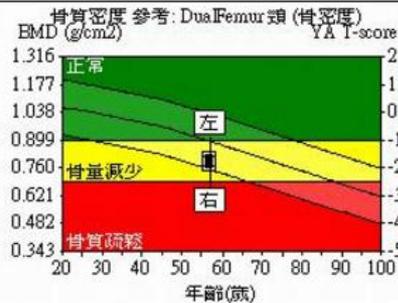
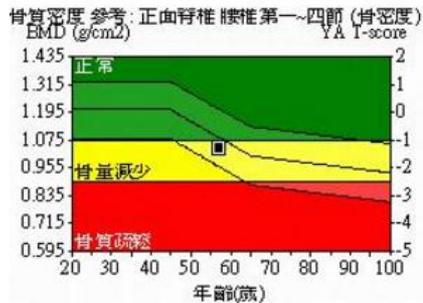


影像不用作診斷



影像不用作診斷
不能提供H&I的圖表結果

(右側= 100.6 mm) (左側= 102.8 mm)



區域	骨密度 ¹ (g/cm ²)	年輕的成年人 ^{2,7} T-score	與同年齡正常人群 ³ Z-score	世界衛生組織分類 ¹¹
正面脊椎 腰椎第一~四節	1.089	-1.3	-0.4	骨量減少
DualFemur類				
左	0.801	-1.7	-0.7	骨量減少
右	0.780	-1.9	-0.8	骨量減少
均值	0.790	-1.8	-0.7	骨量減少
差別	0.021	0.2	0.2	-

一般牙科X光機



全景片 (大片)



根尖片 (小片)

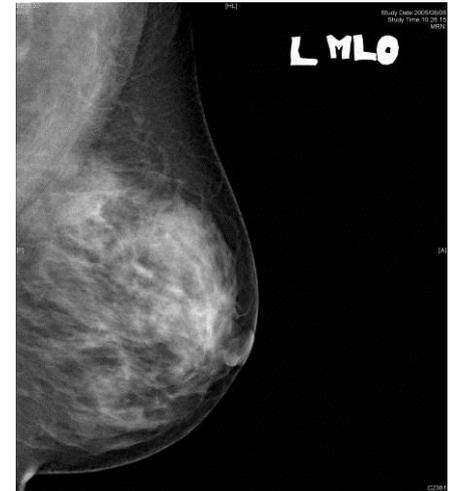
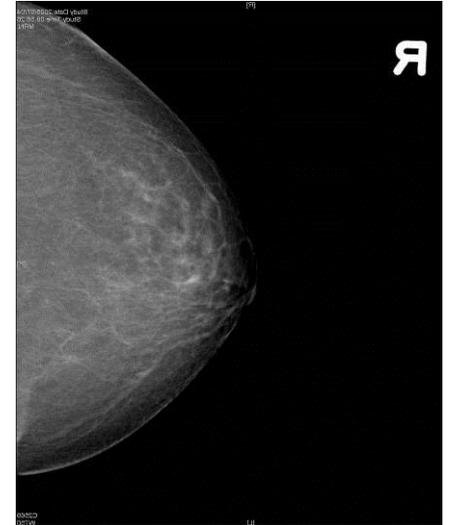


乳房攝影-Mammography

- 最高能量：40keV
- 最高管電流：56mA
- 功能：醫學影像診斷



乳房攝影檢查(Mammography)

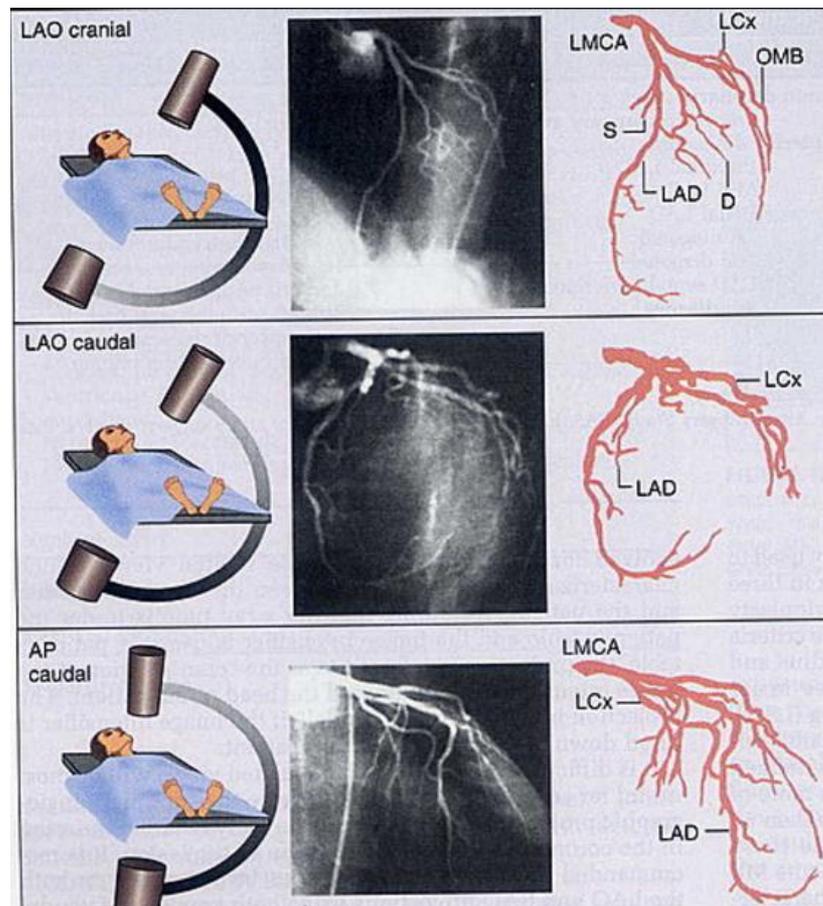
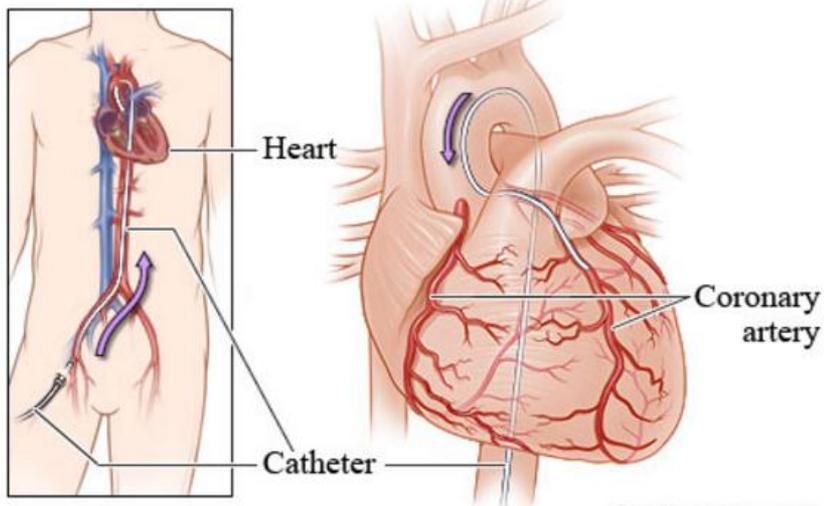


心導管攝影(Angiography)



Catheter from groin to heart

Catheter placed in coronary artery



C-arm類

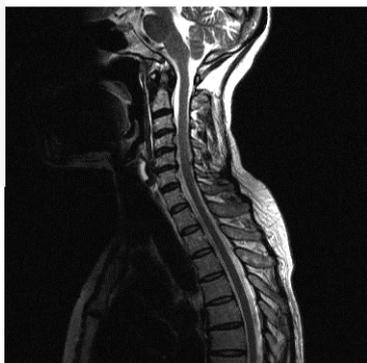
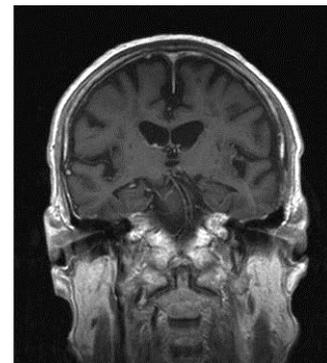
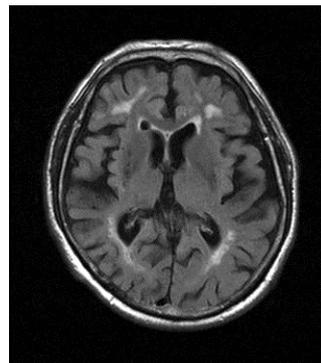
- 最高能量：150keV
- 最高管電流：20mA
- 功能：醫學影像診斷



開刀房透視C-arm



核磁共振檢查影像



核磁共振安全注意事項

- **禁忌症**
- **體內裝有心律調節器，人工心臟瓣膜，動脈瘤止血夾，尤其是眼眶內有殘留金屬碎片者不宜接受檢查，亦不宜進入檢查區。**
- **體內裝有人工耳蝸，下腔靜脈過濾網，Swan-Ganz導管，體內胰島素注射器，體內電極或刺激器，植入之藥物注射器等可能須詳加確認其材質適不適合接受檢查。**



輻射照射應用



Irradiation technology for applications in medical, agricultural, and industrial products



工業上之輻射應用..

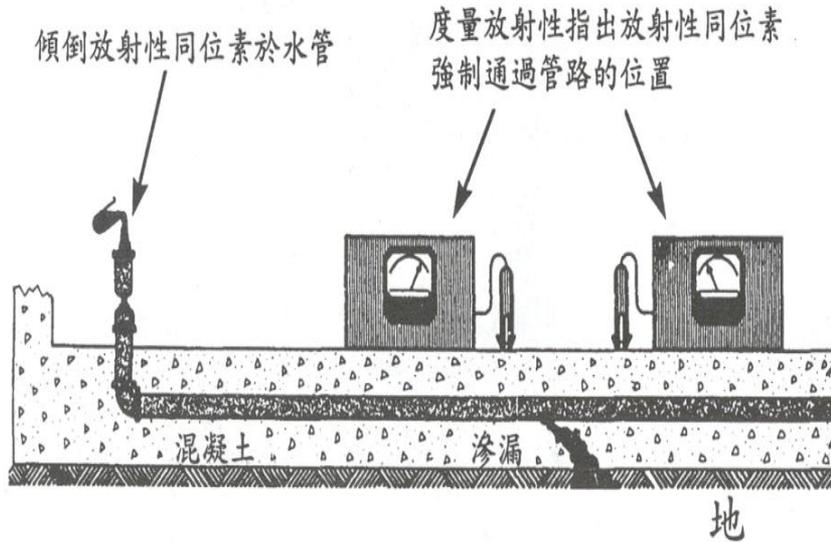
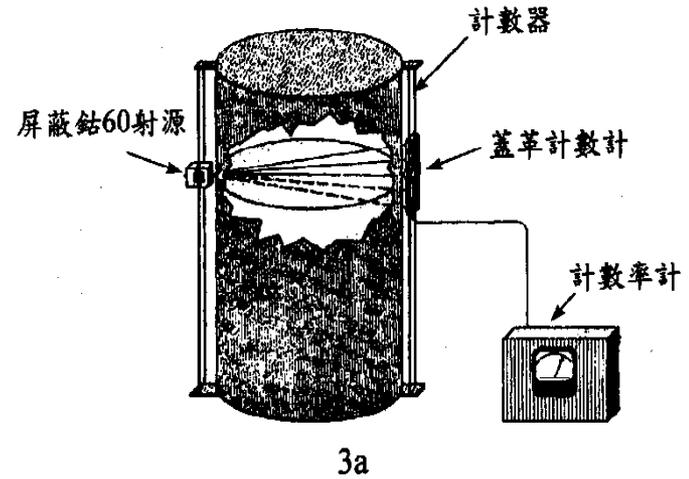
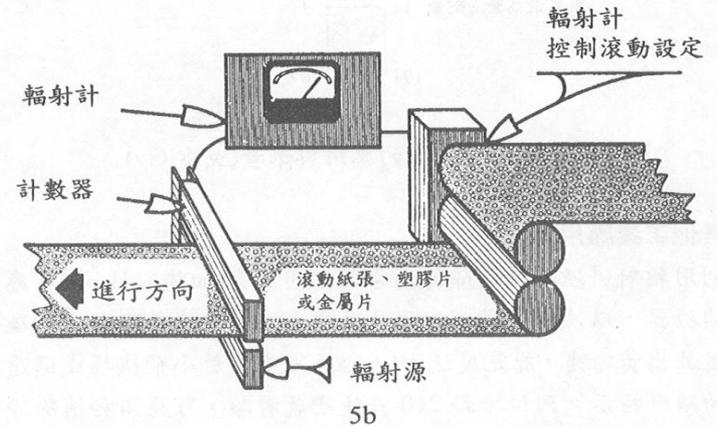


圖4 測漏計

測漏計



液位計

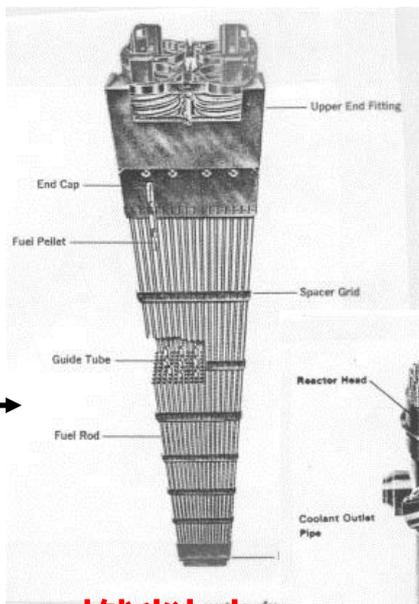


厚度計

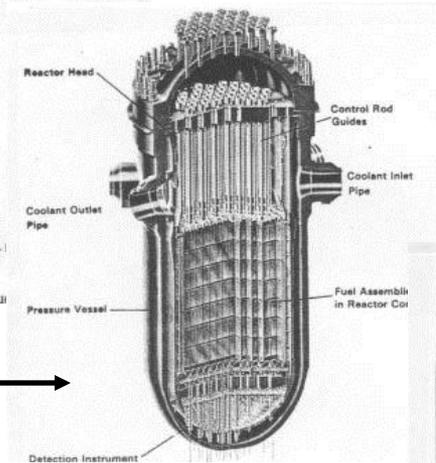
核能發電



UO₂燃料丸

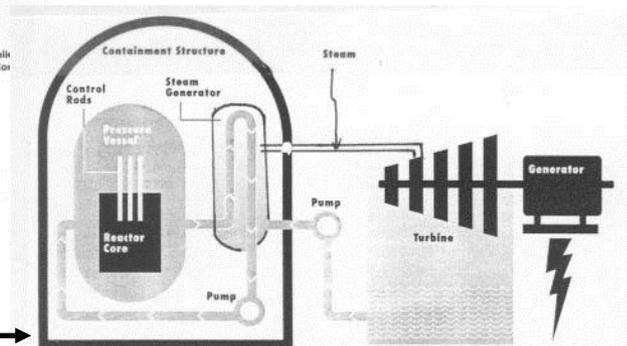


燃料束



核反應爐

每一個²³⁵U分裂反應的中子淨產生率為約1.4個中子，若不加以控制將成(1.4)^m級數成長，控制中子淨產生率是核能發電中重要的控制原理。



核能電廠

民生消費性產品

手錶和時鐘
的光源
(早期 ^{226}Ra ，
近期 ^3H ， ^{147}Pm)

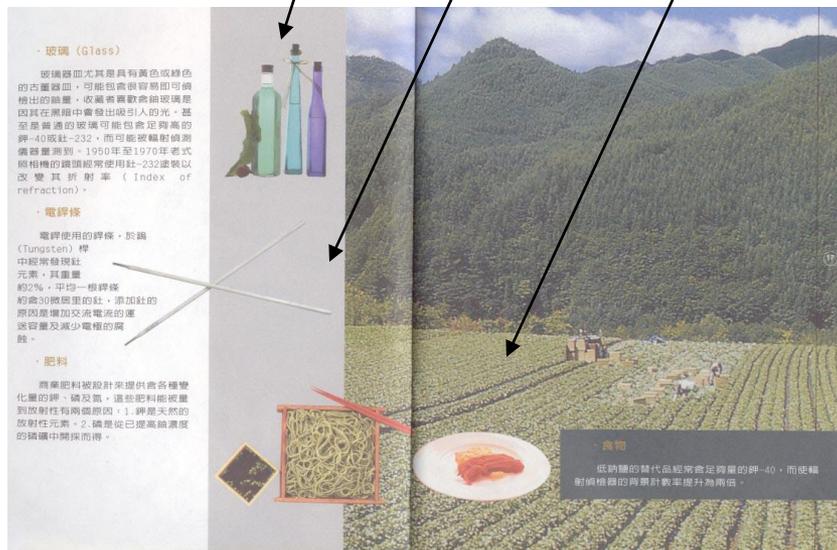
陶瓷器皿
(天然的 U、
Th、K)



煙霧偵檢器
(^{241}Am)

黃綠古董玻璃
(天然的U、Th、K)

電焊條
(鎢桿中的 Th)
肥料
(K, P, U)



放射線核種可歸納出三個主要特性

- A. 能自發性(spontaneously)放出輻射，並衰變(disintegration)成另一子核種。

- B. 放射線核種具有一定的物理半衰期(physical half-life, $t_{1/2,p}$)。放射線核種的衰變不受：
(1)溫度 (2)壓力
(3)質量作用定律 (4)元素的物理和化學狀態等因素影響。

放射線核種三個主要特性(續)

C. 放射線核種的原子數 N_0 (放射強度)隨時間，呈指數衰減(exponential decay)， $I=I_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ 。

例如：

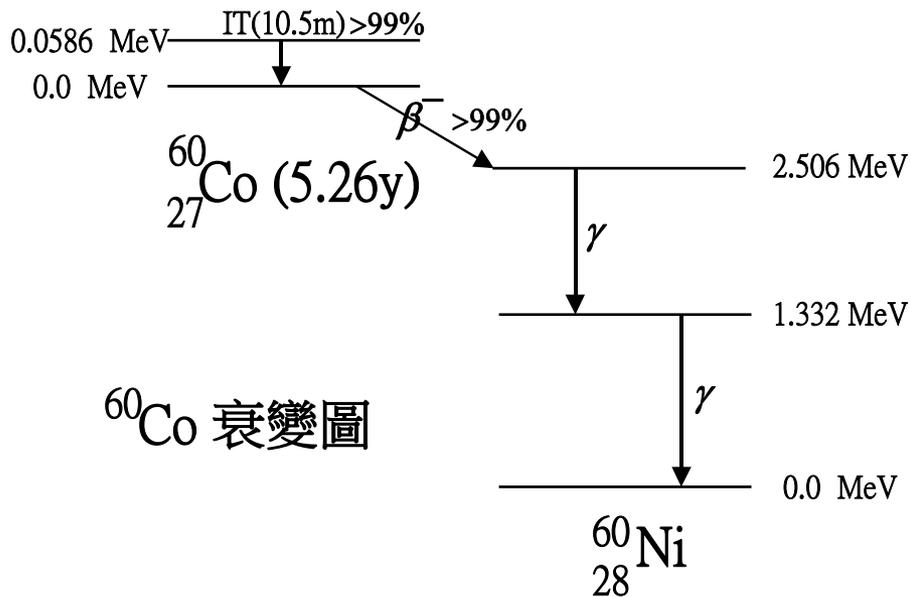
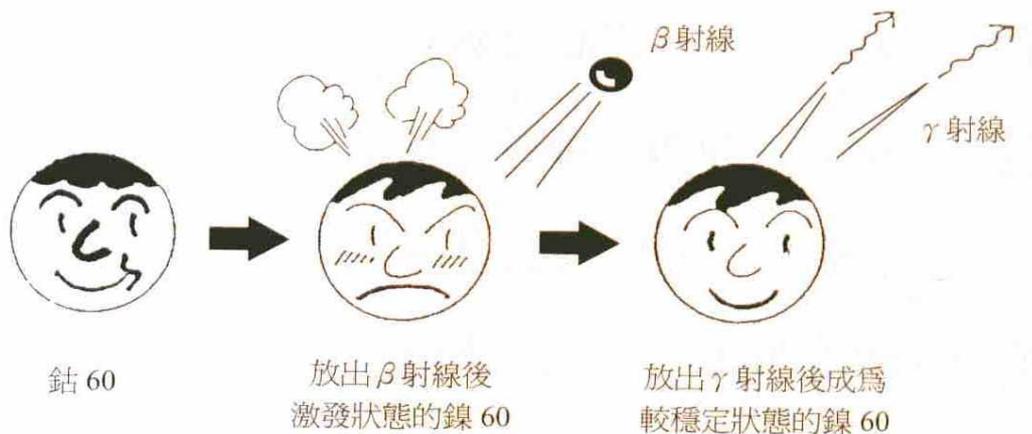
(A)放射治療利用游離輻射所殺死的癌細胞

(B) x光束穿透物質時被衰減(attenuation)的情形

(C)放射性同位素的衰變(decay)

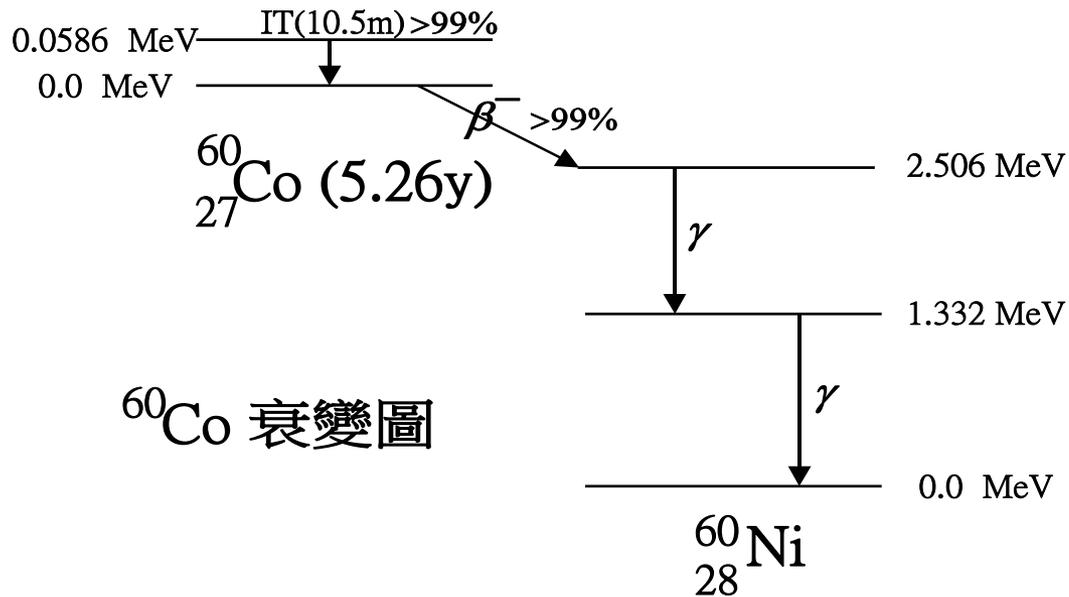
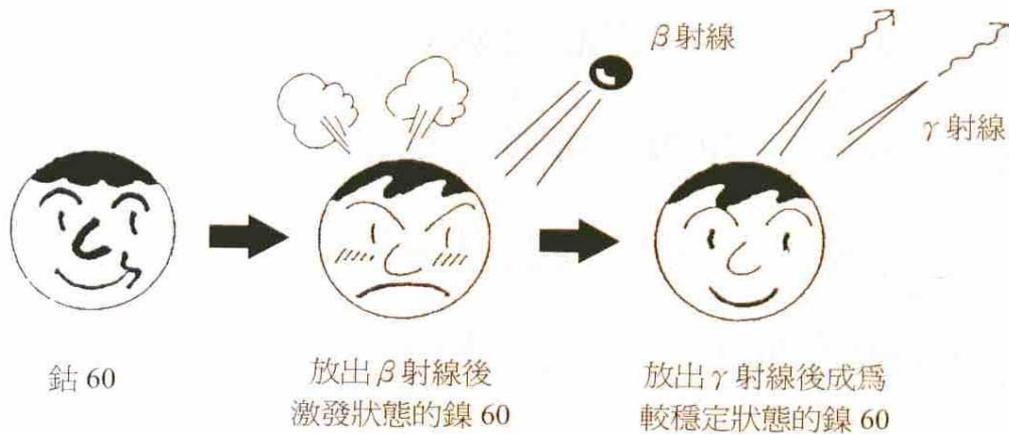
游離輻射的產生

►核種衰變(Nuclear Decay)



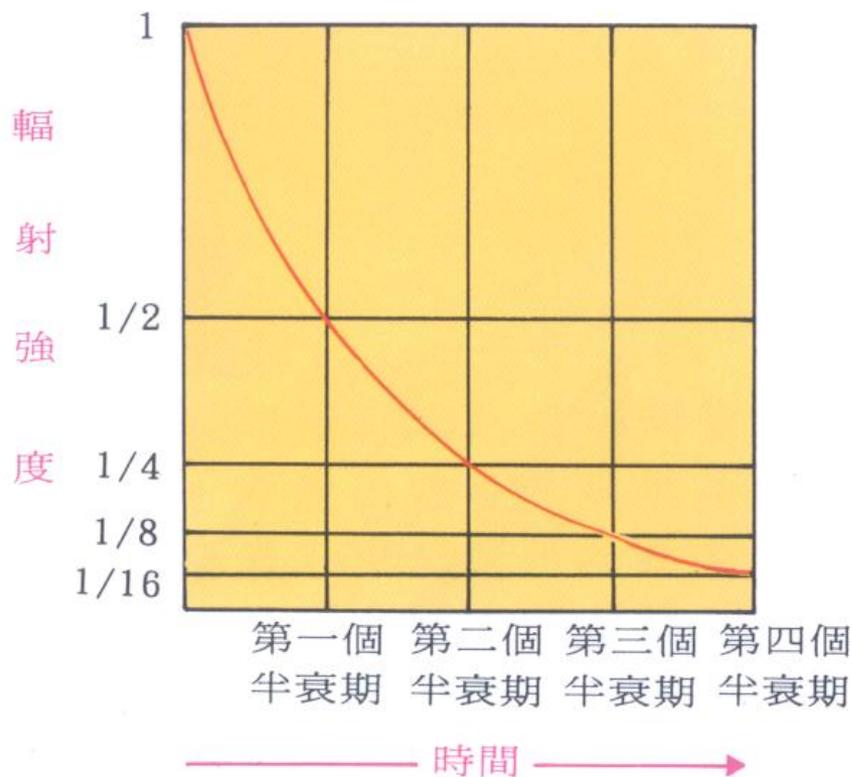
游離輻射的產生

►核種衰變(Nuclear Decay)



游離輻射的特性 – 衰變與衰減

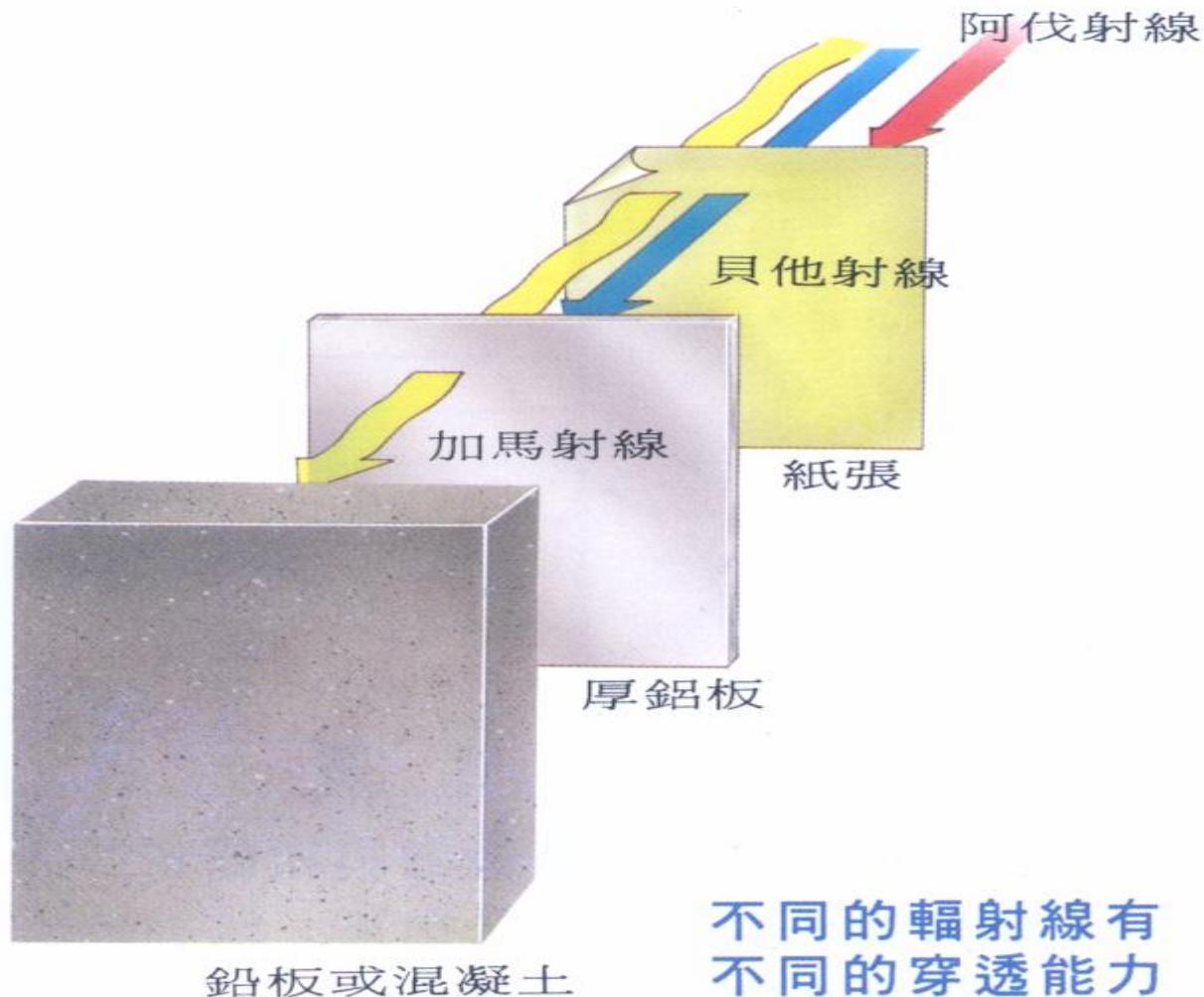
- ▶ 衰變(Decay) – 放射性的物質(N)皆有隨時間而逐漸減少的現象 (指數衰減定律)



常用射源	半衰期
^{60}Co	5.3 年
^{137}Cs	30.0 年
^{90}Sr	28.1 年
^{192}Ir	73.8 天

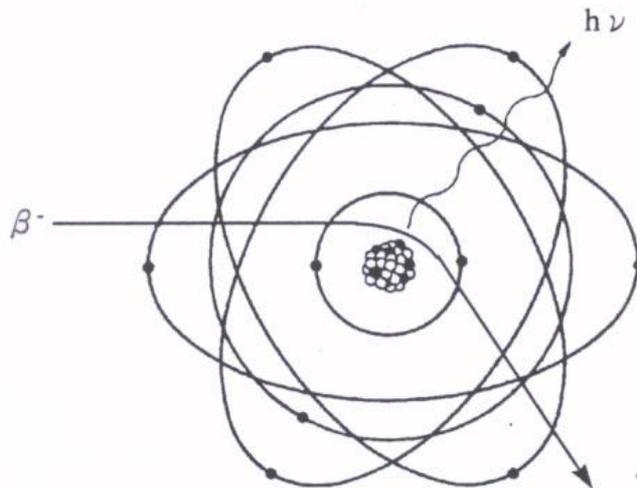
放射性核種的輻射強度
會隨時間之增加而衰減

- ▶ **衰減(Attenuation)** – 游離輻射都可以經由選定之屏蔽物質達到衰減其強度或完全阻擋其穿透之目的。



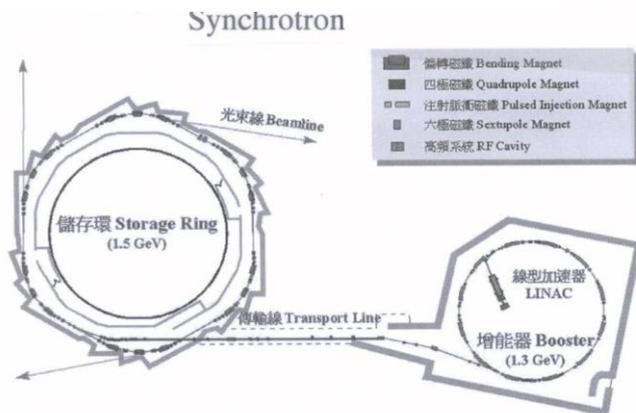
▶ 電磁力作用(Electromagnetic Reaction)

▶ X-射線：制動輻射

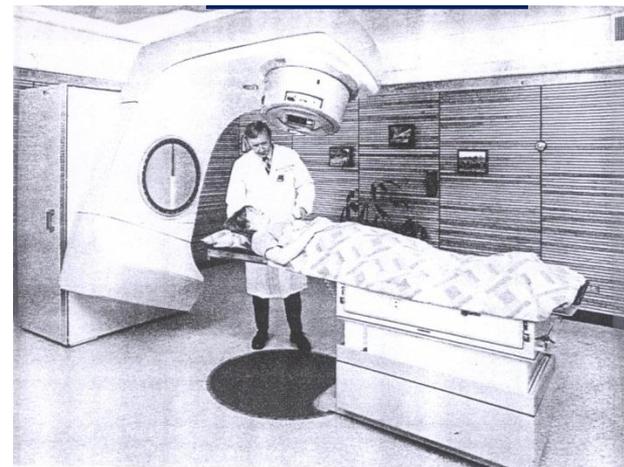


▶ 粒子加速器

同步輻射



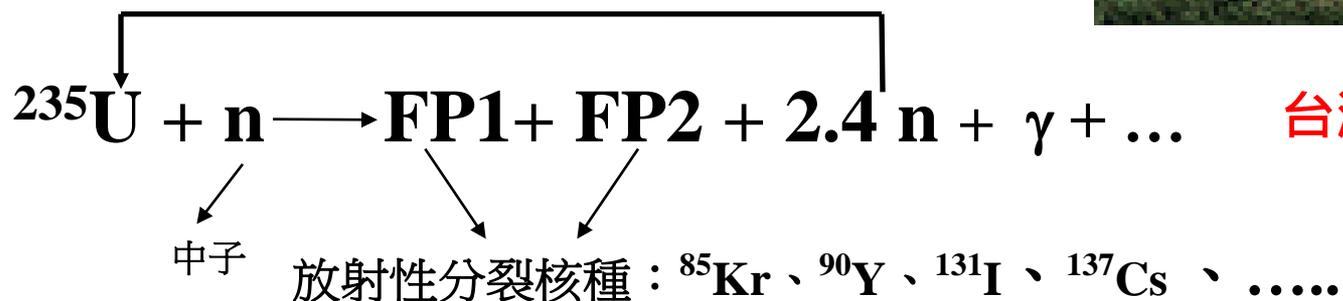
線性加速器



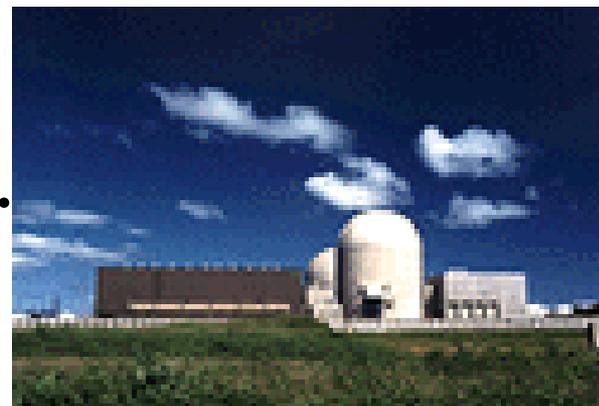
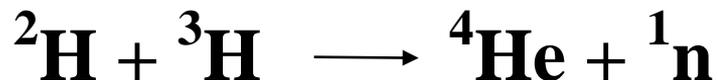
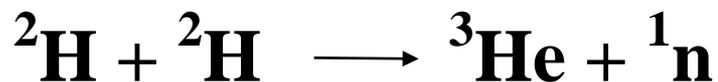
►核反應(Nuclear Reaction)

包括：核分裂、核融合、(n,p)、
(n,α)、(n,γ)、(α,n)、(γ,n)。

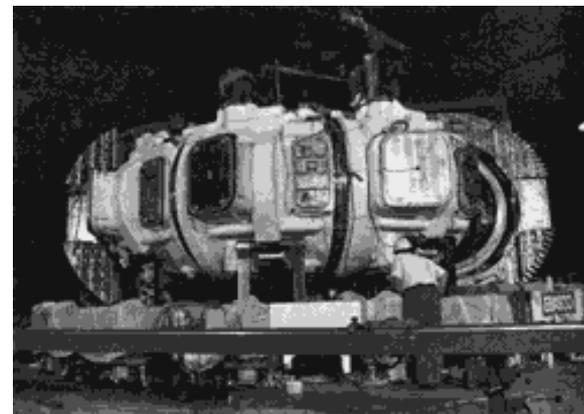
►核分裂：



►核融合：



台灣核三廠圖



美國普林斯頓大學的Tokamak
核融合測試反應器

輻射劑量與健康效應

■ 輻射劑量的定義

吸收劑量 D_T : Absorbed Dose (joul / kg)

1 Gy (戈雷) = 1 Joule /kg (焦耳/公斤)

等價劑量 H_T : Equivalent Dose (joul / kg)

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

1 Sv (西弗) = 1 Gy x W_R (W_R 輻射加權射質因數)

$W_R = 1$ for x 、 γ 、 β

$= 5$ for high energy protons (p)

$= 20$ for α particles and multiple charged particles, fission fragments

$= 5 \sim 20$ for neutrons with different energy (n)

等效劑量 E (單位：西弗)： Effective Dose (Joule / kg)

$$E = \sum_T H_T \cdot W_T$$

人體不同器官所接受到的等效劑量

不同器官之組織加權因素

因人體不同器官遭受到不同輻射劑量所造成的整體人體輻射效應

器官或組織	W_T	
	ICRP-26	ICRP-60
性腺(生殖腺)	0.25	0.20
紅骨髓	0.12	0.12
結腸(大腸直腸)		0.12
肺	0.12	0.12
胃		0.12
膀胱		0.05
乳腺	0.15	0.05
肝臟		0.05
食道		0.05
甲狀腺	0.03	0.05
皮膚		0.01
骨髓表面	0.03	0.01
其餘部分	0.30	0.05

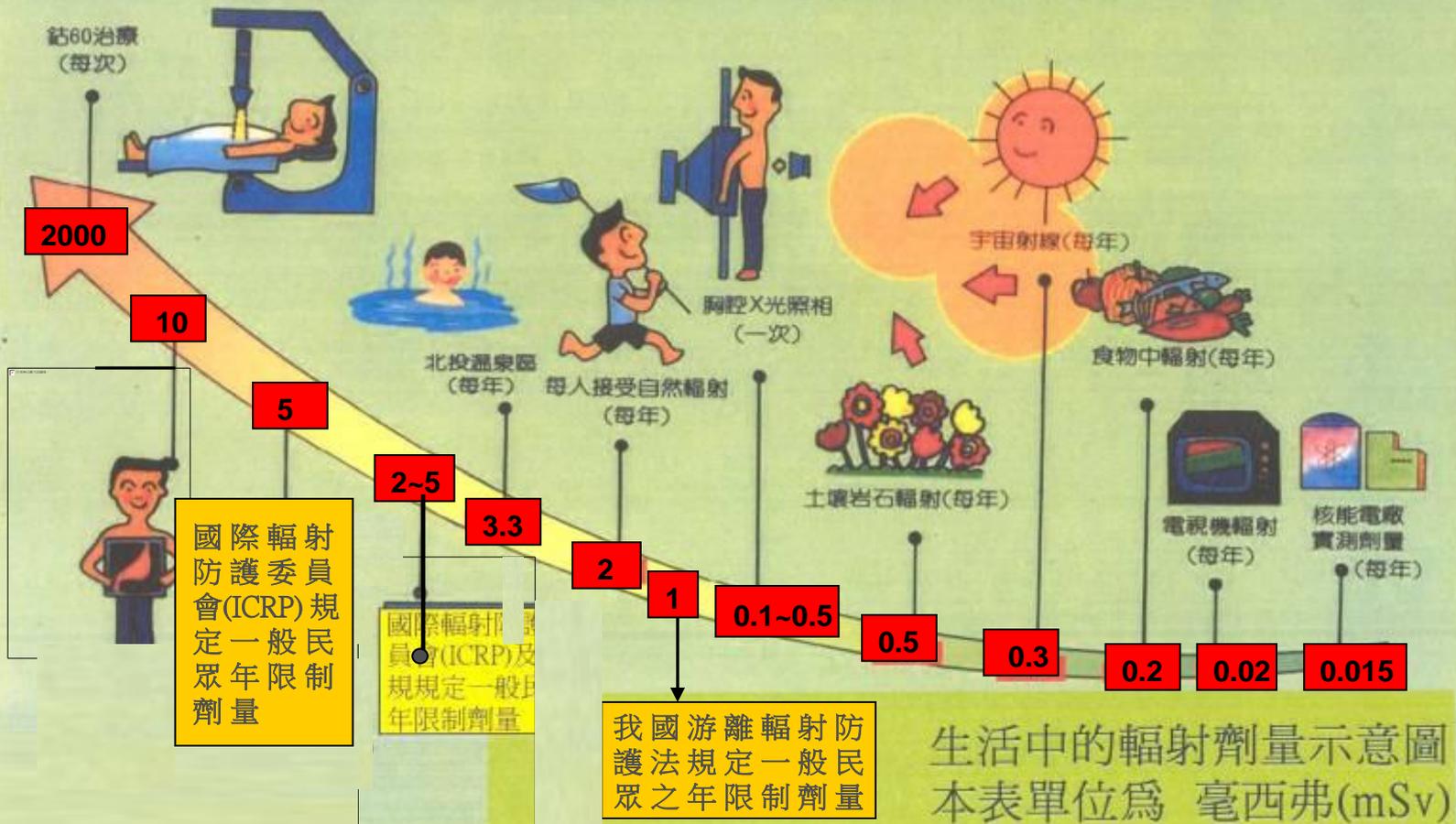
資料來源：ICRP-26(1977)及ICRP-60(1991)
我國目前之法規 W_T 係沿用ICRP-26

輻射劑量與單位：

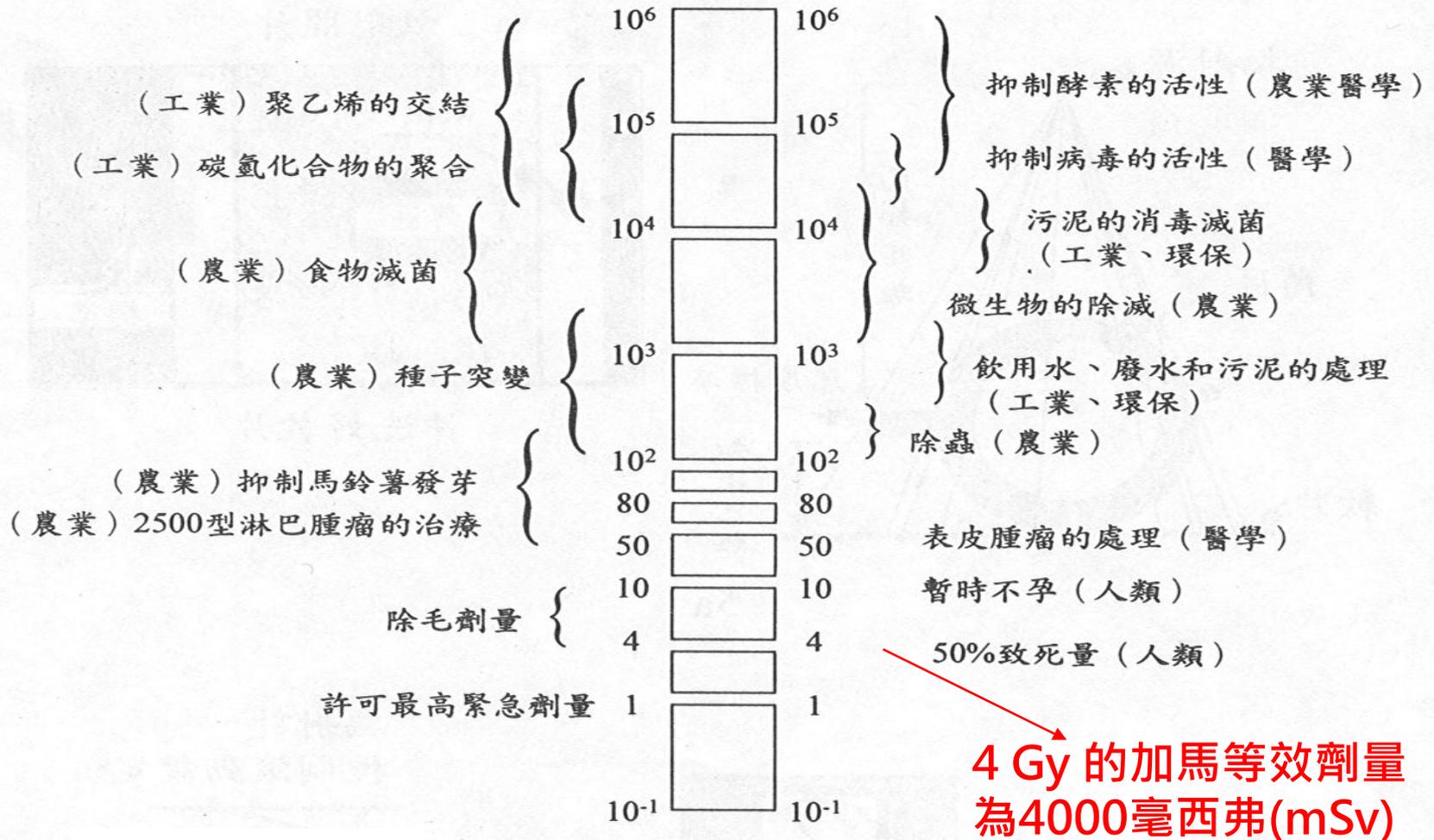
輻射單位	新國際專用單位(符號)	國際制單位(SI unit)	約相當於舊輻射單位
活度	貝克(Bq)	1/秒	2.703×10^{-11} 居里(Ci)
曝露	-	庫侖/公斤	3876 倫琴(R)
吸收劑量	戈雷(Gy)	焦耳/公斤	100 雷得(rad)
等效劑量	西弗(Sv) (戈雷×射質因數)	焦耳/公斤	100 倫目(rem)
有效等效劑量	西弗×加權因數	焦耳/公斤	100 倫目(rem)

生活中輻射劑量

輻射劑量比較

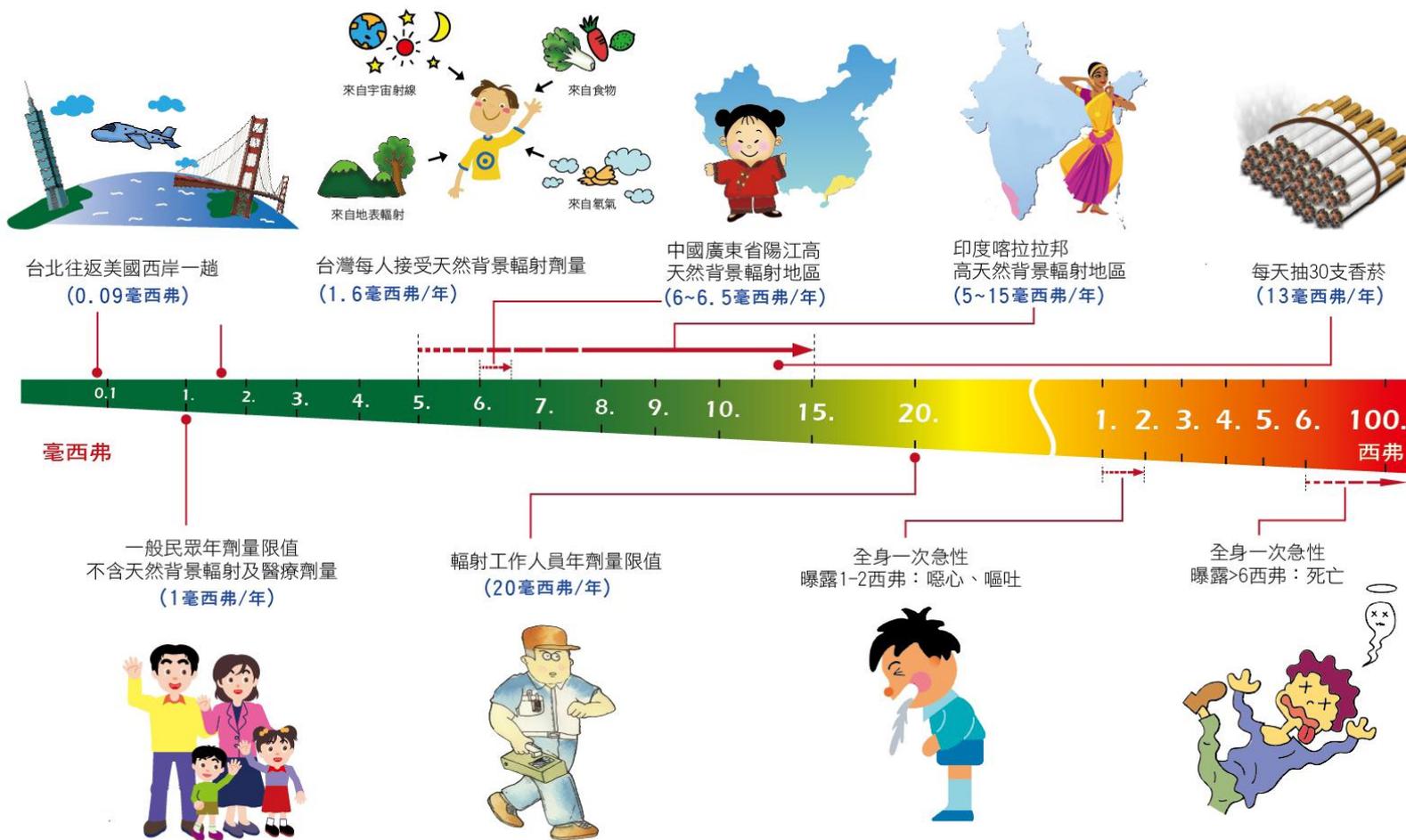


工業上各種輻射照射應用輻射劑量比較表

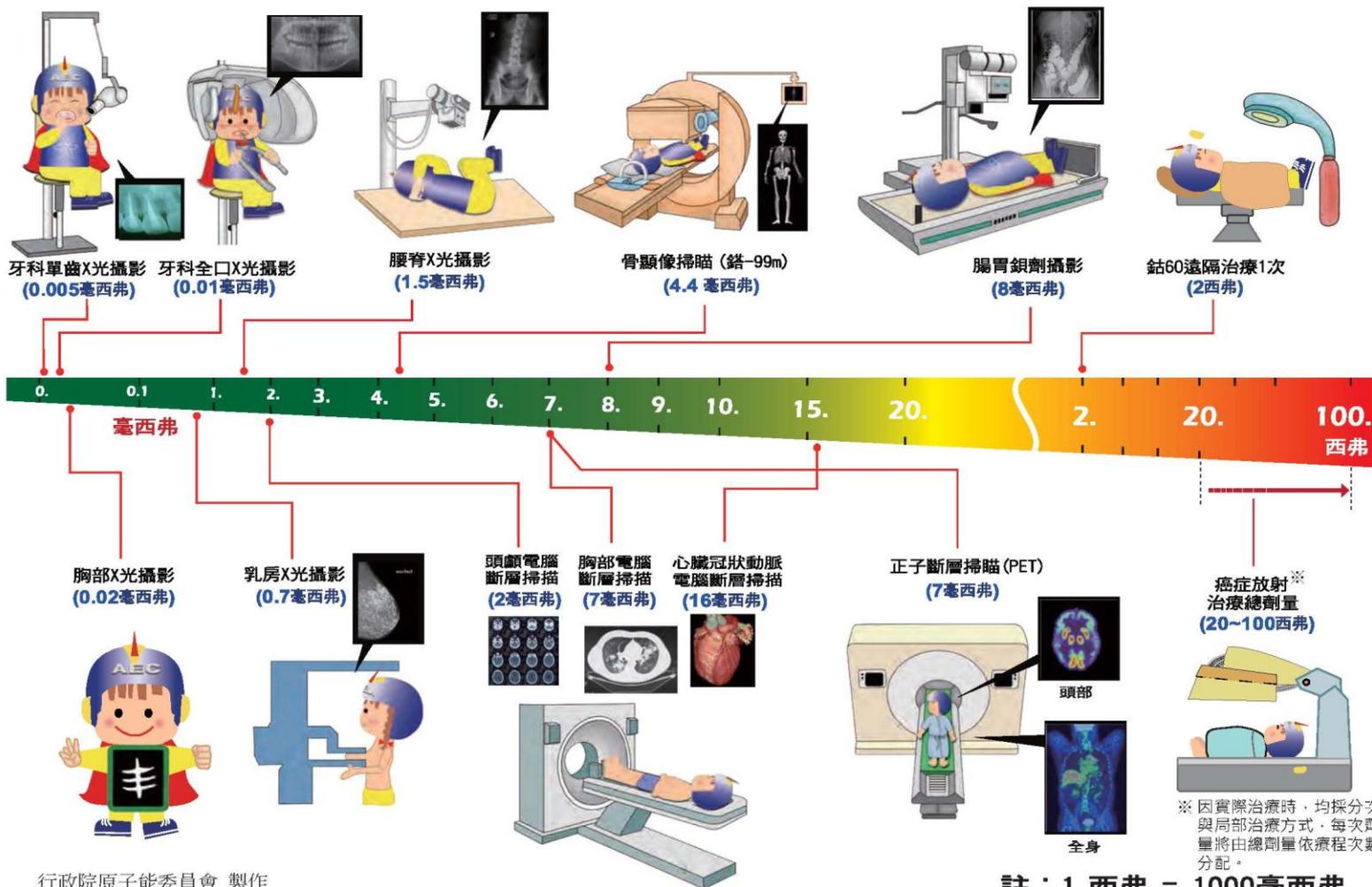


輻射照射的應用與劑量(戈雷 Gy)

劑量比較圖



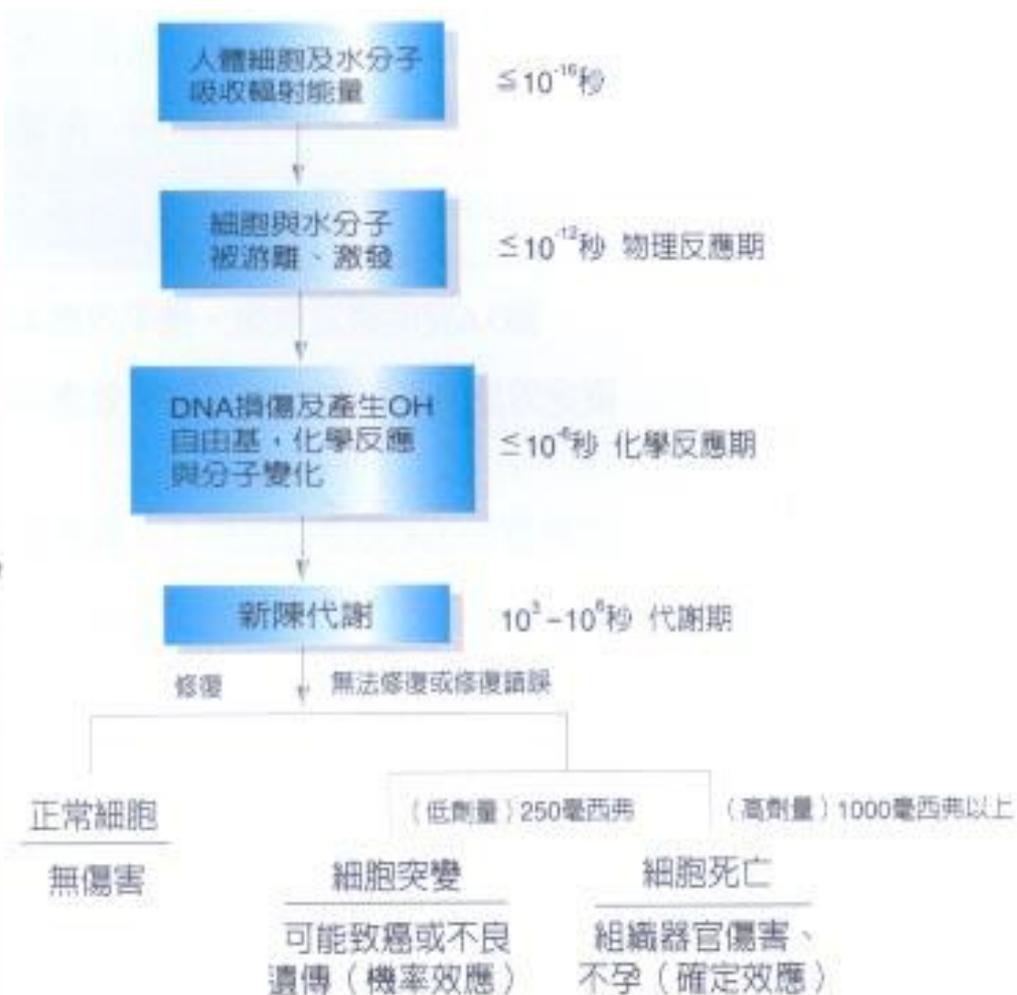
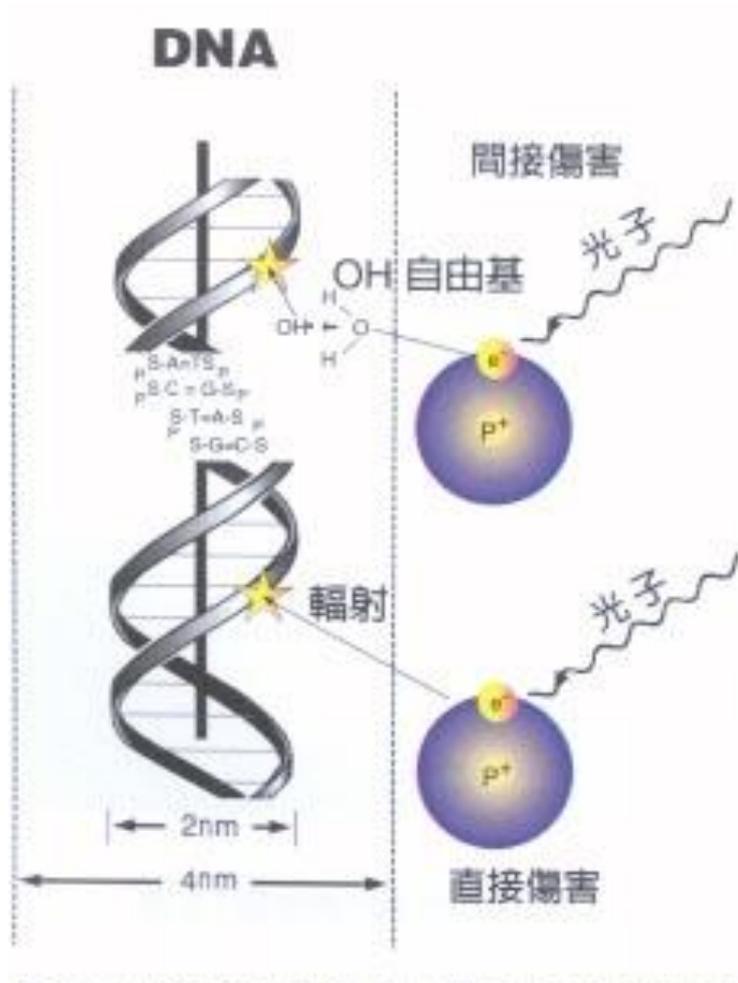
劑量比較圖(病患)



※因實際治療時，均採分次與局部治療方式，每次劑量將由總劑量依療程次數分配。

註：1 西弗 = 1000毫西弗

輻射對身體細胞傷害的機制



游離輻射造成的生物效應

- ▶ 確定效應(deterministic effect)：
指導致組織或器官之功能損傷之效應。
 1. 嚴重程度與所受劑量大小成比例增加。
 2. 此種效應之可能有劑量低現值存在。
 3. 為防止非機率性效應，劑量限度以等效劑量表示。

- ▶ 機率效應(stochastic effect)：
指致癌效應及遺傳效應。
 1. 其發生機率與劑量大小成正比，而與嚴重度無關。
 2. 此效應之發生無劑量低現值。
 3. 為管制機率效應，劑量限度以有效等效劑量表示。

游離輻射之健康效應

▶ 遺傳效應：

游離輻射的遺傳效應是指游離輻射在性細胞上所造成的傷害可延及至後代子孫。

遺傳傷害主要來自基因突變與染色體變異。

- 基因突變包含：

單一顯性突變、隱性突變及性染色體上的隱性突變。

- 染色體變異包含：

染色體數目異常及染色體斷裂。

► 軀體效應

(1) 急性全身效應如下表所列：

一次劑量(毫西弗)	一般症狀說明
小於 10	無可察覺症狀，但遲延輻射病的產生仍可能發生。
100~250	能引起血液中淋巴球的染色體變異。
250~1000	可能發生短期的血球變化(淋巴球、白血球減少)，有時有眼結膜炎的發生，但不致產生機能之影響
1000~2000	有疲倦、噁心、嘔吐現象，血液中淋巴及白血球減少後恢復緩慢。
2000~4000	24小時內會噁心、嘔吐，數週內有脫髮、食慾不振、虛弱、腹瀉及全身不適等症狀，可能死亡。
4000~6000	與前者相似，僅症狀顯示的較快，在2~6週內死亡率為50%。
6000 以上	若無適當醫護，死亡率為100%。

(2)局部或遲延效應

皮膚	紅斑、脫毛、嚴重者會紅腫、起泡、潰瘍，有如一般燒傷。
眼睛	<u>水晶體受 5 西弗以上之輻射劑量破壞後透明性喪失，出現雲絲狀物(俗稱翳)，是為白內障，嚴重者可能失明。</u>
造血機	<u>紅骨髓為造血器官，對輻射極為敏感，受破壞後將減弱血液之殺菌，運輸及凝血功能，且可能導致血癌(俗稱白血病)。</u>
消化器官	受輻射傷害之主要症狀為噁心、嘔吐、腹瀉及食慾不振。小腸內壁最為敏感，受損後易致潰瘍，大量出血(不易凝結止血)，且不易消化吸收，造成體弱及貧血，並易感染併發症。
甲狀腺	位於喉部，分泌荷爾蒙控制新陳代謝。 <u>碘-131侵入人體後，即被吸收，集中於此，減少生產荷爾蒙，以致減低新陳代謝而損及健康，或可能導致甲狀腺癌。</u>
生殖機能	<u>男子睪丸一次接受 5 西弗以上時可能導致永久不孕，劑量較低或慢性累積者均可恢復，女子不孕劑量約為 3 西弗。遭受高劑量損害之精子或卵子，如成孕則可能造成流產、死胎、畸形或智能遲鈍等現象。胎兒於細胞分裂生殖期中最易受輻射影響，故孕婦懷孕初期宜特別注意。孩童對輻射亦遠較成人為敏感。</u>

輻射劑量的量測與法規限值

輻射照射與輻射污染

➤ 照射(曝露)：

人曝露於體外輻射場中受到輻射之照射，不會造成輻射之擴散。造成人體之輻射曝露，其輻射源來自於體外者稱為體外曝露，來自於體內者稱為體內曝露。

➤ 污染：

人的髮膚附著或體內吸入或攝入放射核種而受到輻射之照射，污染通常會造成輻射之擴散。

體內曝露的偵測

全身計測法

可直接自體外計測體內含核種及活度，對體內污染如 α 或 γ 核種的測量甚為方便，高能量 β 核種也可能測量。

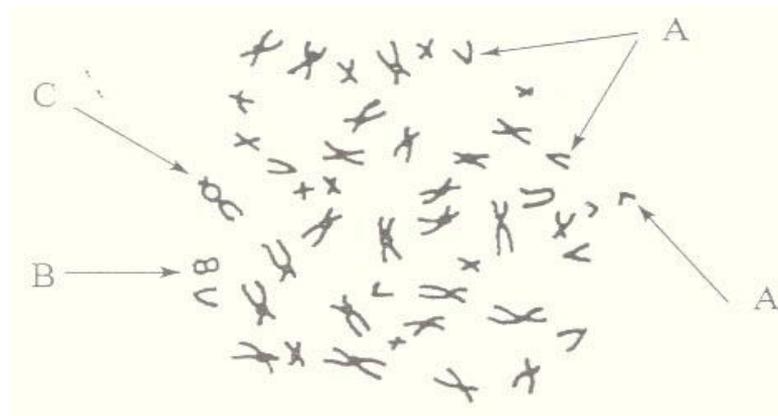


全身計數器

生化分析法

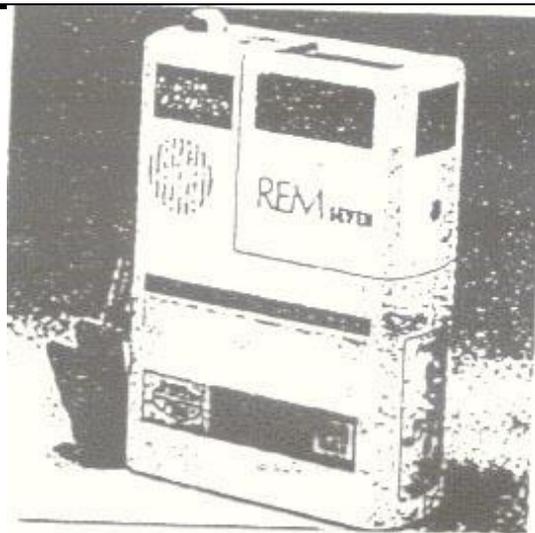
藉由取人的排泄物(糞便、尿、血液等)，經過適當處理後加以偵測，據以推算全身污染的活度，此方法適於偵測發射任何輻射(α 、 β 、 γ 、 χ)的放射性核種。

染色體變異分析



體外曝露劑量監測

個人劑量計

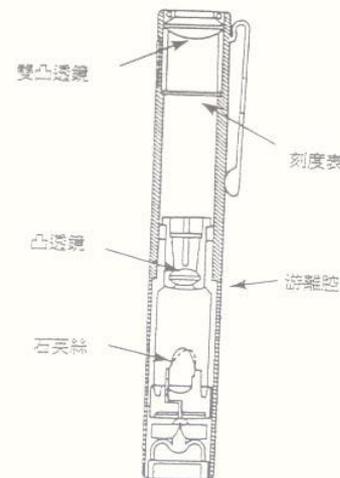


個人警報器

劑量筆

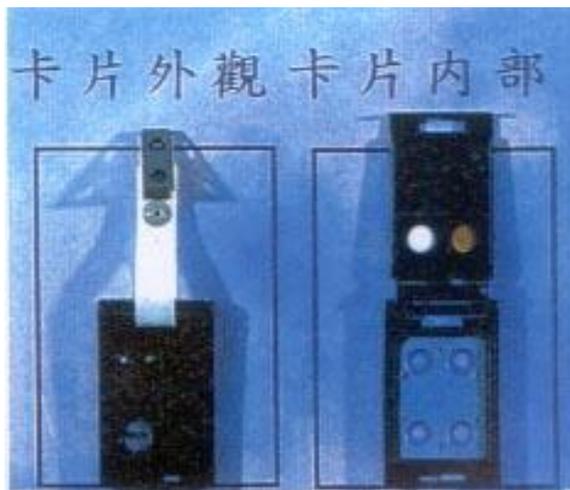


袖珍劑量筆



直讀式劑量筆

人員劑量配章



人員輻射劑量佩章

手提輻射偵檢器



手提輻射偵檢器

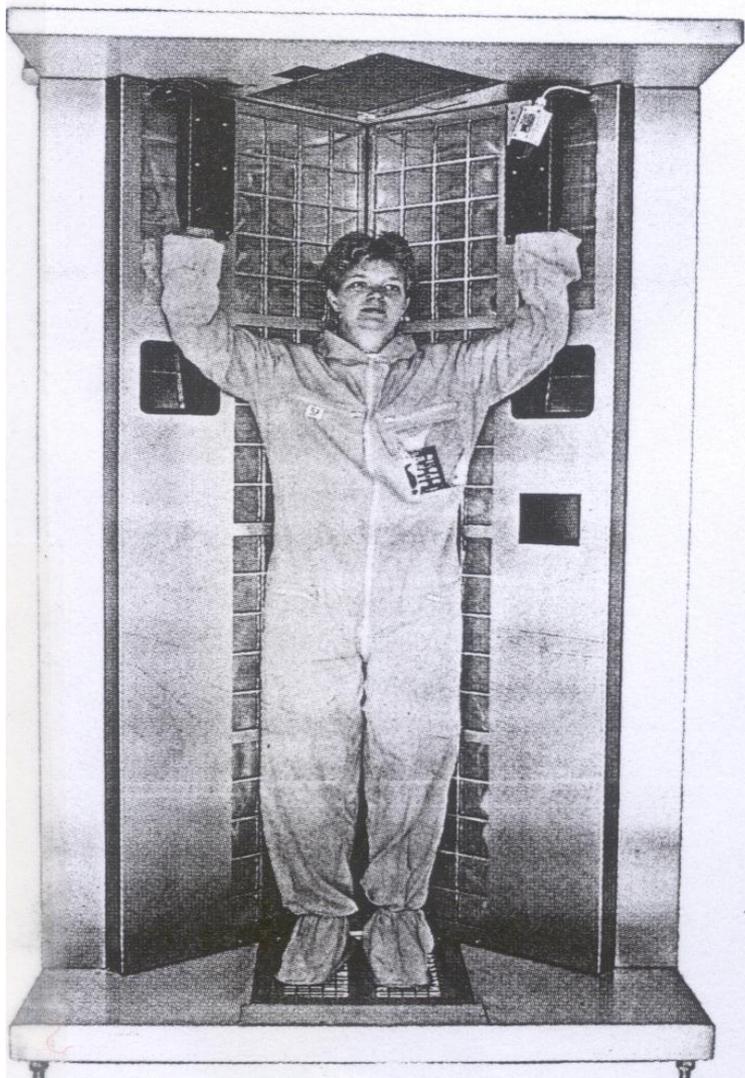


手提污染偵檢器

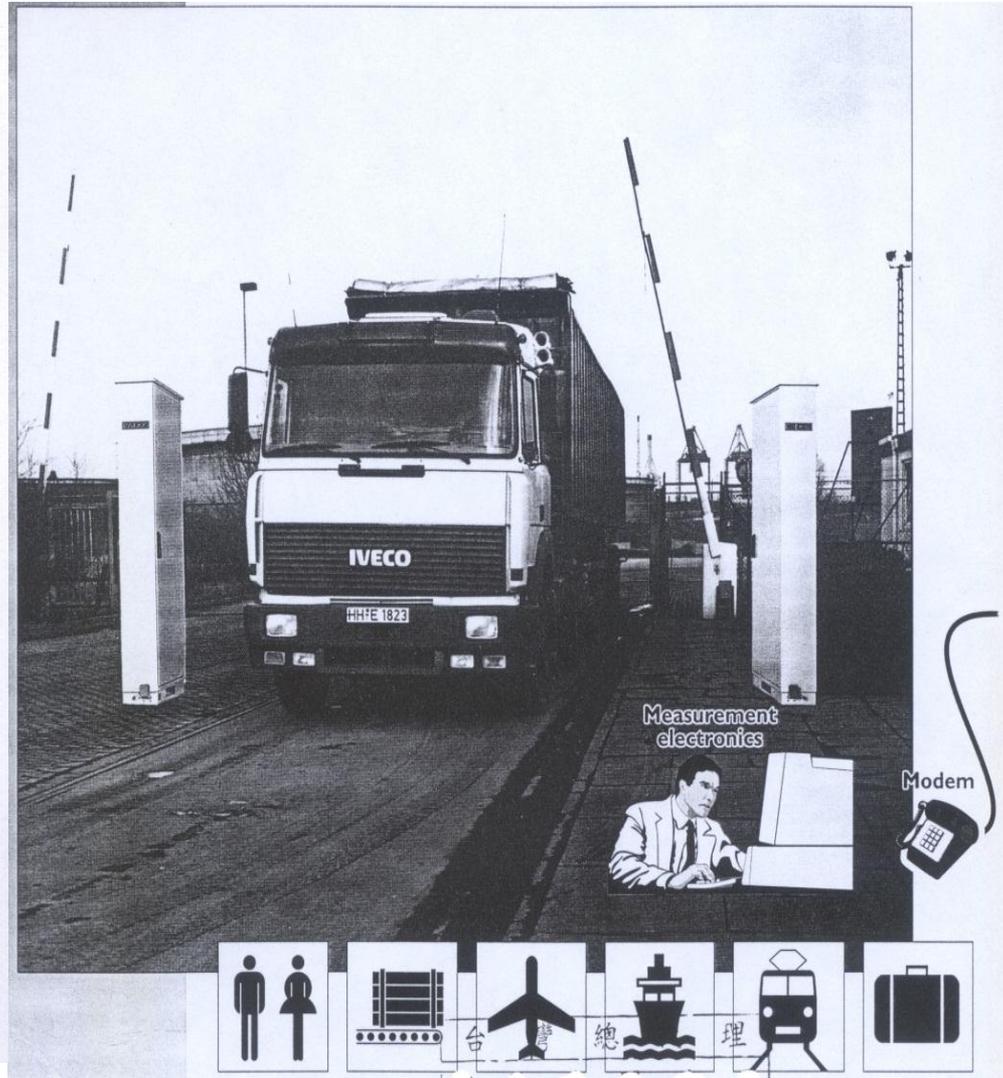


核能研究所 SM-99 輻射偵測器

進出輻射管制區之 門型偵檢器

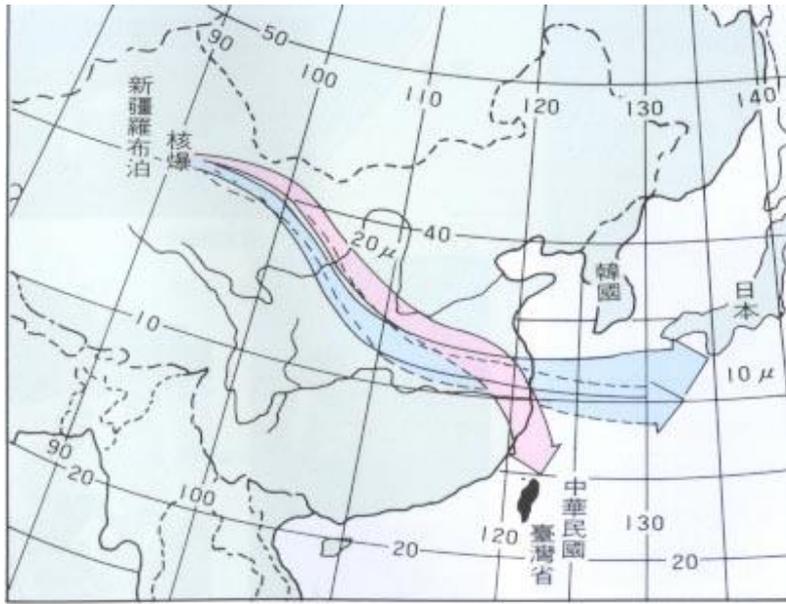


進出海關碼頭之 門型偵檢器

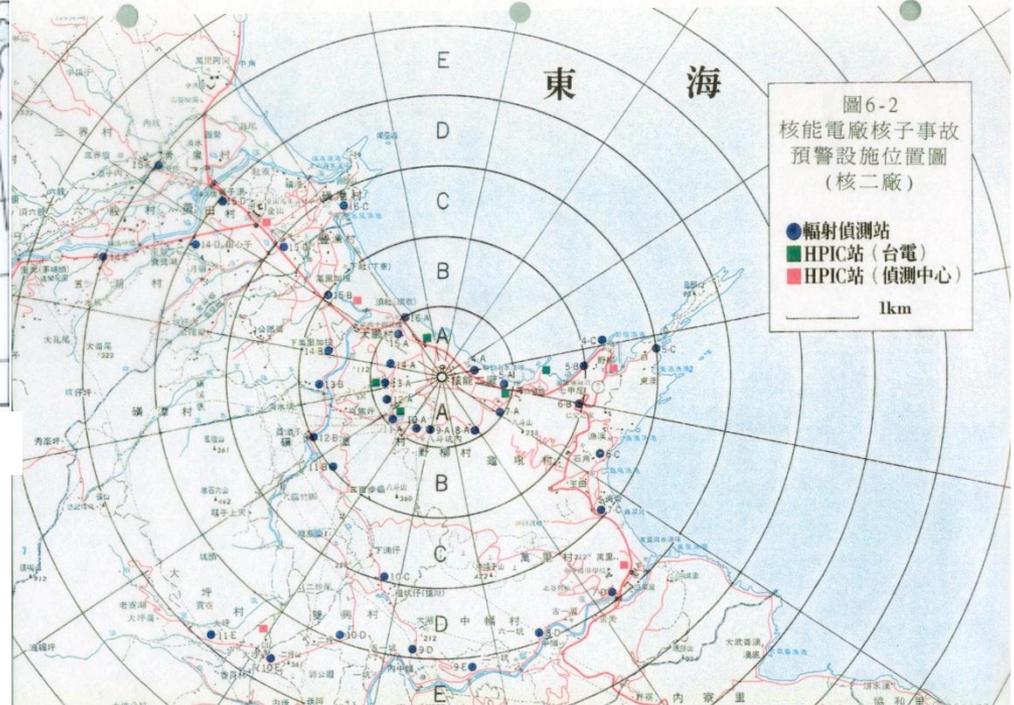


環境輻射監測

地球整體大氣之流動影響著
我們的環境輻射背景



核二廠附近之輻射偵測站位置圖



輻射防護的原則與輻射屏蔽

體外輻射防護的(TSD)原則

▶ **時間(Time)**：縮短於輻射場中的曝露的時間

衰減：注意射源原始強度與衰減時間
(瞭解你的射源)

$$I = I_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

▶ **屏蔽(Shielding)**：使用各種有效的屏蔽材料

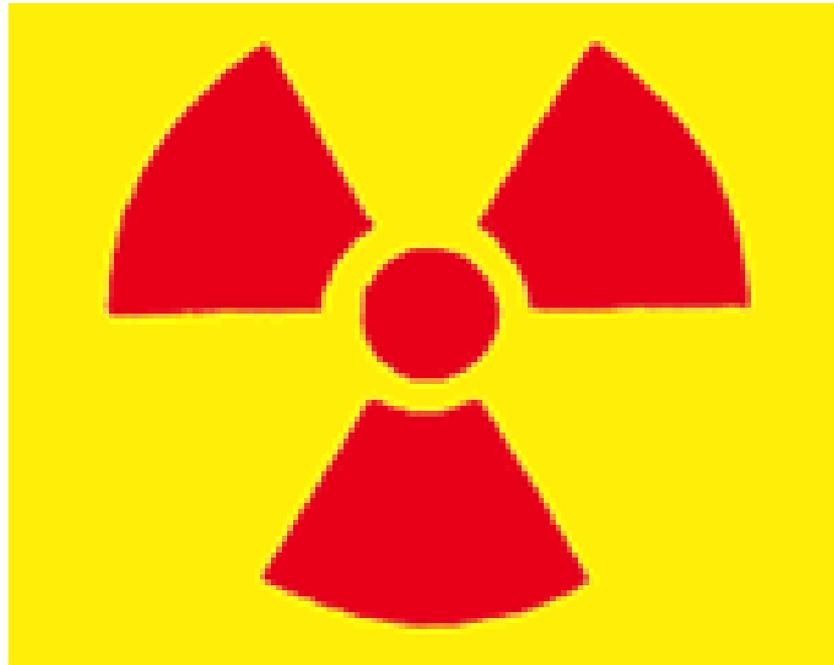
▶ **距離(Distance)**：加馬射源強度隨距離平方成反比 $I_0 \propto 1/r^2$

輻射防護的原則與輻射屏蔽

體外輻射防護的(TSD)原則



輻射警示標誌(輻射源與輻射場所)



游離輻射的應用與安全防護(法規面)

輻射源三大分類

--密封射源

--非密封射源

--可發生游離輻射設備

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(密封/非密封)或可發生游離輻射設備設備及其輻射作業之管制依照其風險之高低進行合理之管制。



設備及物質

- 設備

登記類：牙科型X光機、診斷型X光機、移動型X光機、電腦斷層掃描儀、乳房攝影X機、骨質密度儀、震波碎石定位用X光機、巡迴車用X光機。

許可類：醫用直線加速器。

- 物質

登記類：放射免疫分析(非密封)、密封校正射源。

許可類：核子醫學(含迴旋加速器)、放射治療(遠隔及近接)、血液照射器、密封校正射源等。

人員證照審查

● 操作人員

● 輻射安全證書

- 訓練班36小時 + AEC測驗及格者 = > AEC發證書。
- 每6年換證 (36小時訓練) 。
- 可操作許可類、登記類之設備或物質。
-

● 訓練取代證書

- 設施經營者或訓練班18小時及格者 = > 授課單位發證書。
- 不需換證(終生有效)。
- 僅可操作登記類之設備或物質
 - 醫療院所之設備及物質，除了放射治療及核醫外，均為登記類。

輻射防護組織

- 國際放射防護委員 (International Commission on Radiological Protection, ICRP)
- 國家輻射防護和度量委員會 (National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP)
- 國際輻射單位與度量委員會 (International Commission on Radiological units and Measurements, ICRU)

劑量率限值(游離輻射安全法規標準)

- 一般民眾年劑量限值：1mSv/year
- 一週五天, 一天八小時
- $1\text{mSv}/2000\text{hr} = 0.5\text{uSv/hr}$

- 工作人員：20mSv/year
- $20\text{mSv}/2000\text{hr} = 10\text{uSv/hr}$



- 鉛衣
- 鉛頸圍
- 鉛手套
- 鉛屏蔽
- 鉛玻璃



鉛衣及個人防護設備系列
Lead Clothes and Accessories

· 頭、頸部防護系列



防護鉛帽



防護巾



防護面罩A型



防護面罩B型



防護鉛帽
(圍領連體型)



防護鉛帽



一體型鉛頸圍



大領型鉛頸圍



鉛手套



藥物品管



針筒鉛套筒

不同能量與材質的半值層與什一值層 (NCRP 49)

● 能量	半值層(mm)	
	鉛	水泥
● kVp		
● 50	0.06	4.3
● 70	0.17	8.4
● 100	0.27	16
● 125	0.28	20
● 150	0.3	22.4
● 511	4.1	34
● ^{131}I	2.4	29.3

● 能量	什一值層(cm)	
	鉛	水泥
● MV		
● 4	5.3	29.2
● 6	5.5	34.3
● 10	5.6	38.9
● 15	5.7	43.2
● ^{192}Ir	2.0	14.7
● ^{60}Co	4.0	20.6

穿透因數與屏蔽厚度

$$B_x = \frac{P(d_{pri})^2}{WUT}$$

- B_x : 穿透因數(或K)
- P : 劑量限度
- W : 工作負荷或每週劑量
- U : 使用因數
- T : 佔用因數
- d_{pri} : 靶至測試點的距離

$$n_t = -\log\left(\frac{1}{B_x}\right)$$

n_t : 什一值層數量

屏蔽厚度 = 什一值層 $\times n_t$

$$n_h = -\log_2\left(\frac{1}{B_x}\right)$$

n_h : 半值層數量

屏蔽厚度 = 半值層 $\times n_h$

輻射線的安全防護

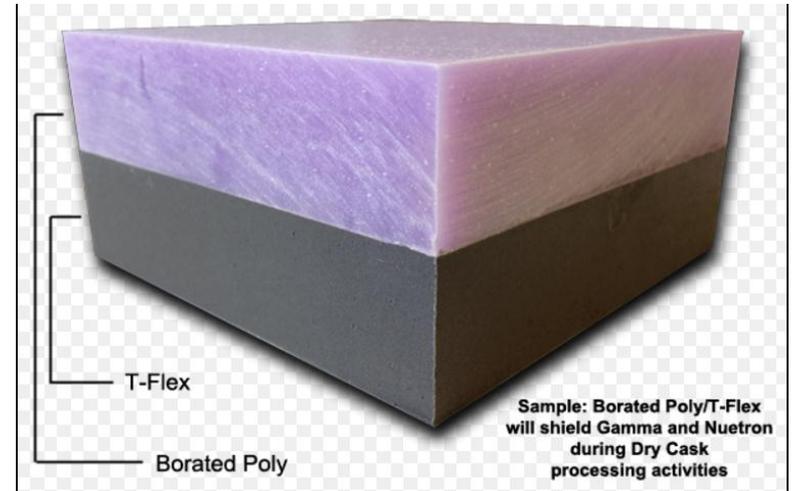
- 原則
 - 保守估計—寧願多作(管制區與非管制區)
 - 嚴格監工
 - 同時考慮空間、結構與鉛屏蔽



鉛塊 鉛磚



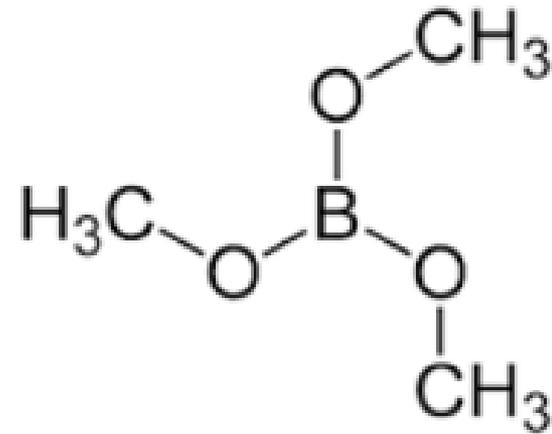
阻擋中子



硼酸鹽

化合物

硼酸鹽是一類含硼的化合物。當中的硼可以與三個氧原子鍵合成 $B(OR)_3$ ，也可以與四個氧原子鍵合成 $B(OR)_4^-$ 陰離子。硼酸根離子的化學式為 BO_3^{3-} 。它可與金屬元素形成鹽。在自然界中所發現的硼通常為硼酸鹽礦物。硼也會與矽酸鹽結合形成絡合硼矽酸鹽礦物例如電氣石。硼酸鹽以許多形式存在。[維基百科](#)



輻射屏蔽之考量

▶ α 粒子之屏蔽考量

α 粒子因其穿透力甚弱，人體皮膚之死層(Dead Layer) 可有效阻止 α 粒子(α 至少需具有7.5MeV以上之能量，才可能穿透皮膚)，因此 α 粒子在體外將不會構成傷害。

故 α 粒子之屏蔽問題可以不考慮。但 α 粒子如進入體內，則其輻射加權因數(W_R)值為20，對身體構成很嚴重的傷害，故該特別小心防護 α 粒子進入體內。

輻射屏蔽之考量(續)

▶ β 粒子之屏蔽考量：

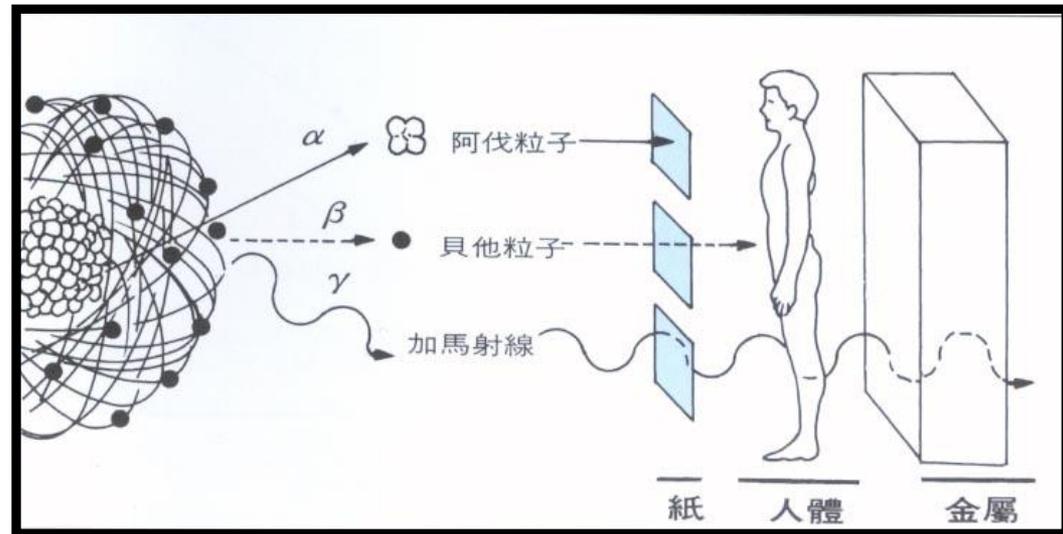
β -粒子之穿透力較 α 強，通常 1 MeV之 β 粒子在空氣中可通行3.3公尺，故 β 粒子可穿過皮膚之死層，對人體之皮膚具有傷害力，但通常無法穿透深層體下組織。

► 中子之屏蔽考量：

一般非核能或非核燃料循環之實驗室，均極少有機會接觸到中子輻射場。屏蔽中子的最好方法是使用含低原子序較多的物質(如水、塑膠)來減速中子，然後用強中子吸收體(如硼-10)來吸收中子。

► γ 或 X 射線之屏蔽考量：

γ 或 X 射線對物質之穿透力很強，必須使用密較高的物質為屏蔽(如鉛或鎢等)，才能有效阻擋 γ 或 X 射線。



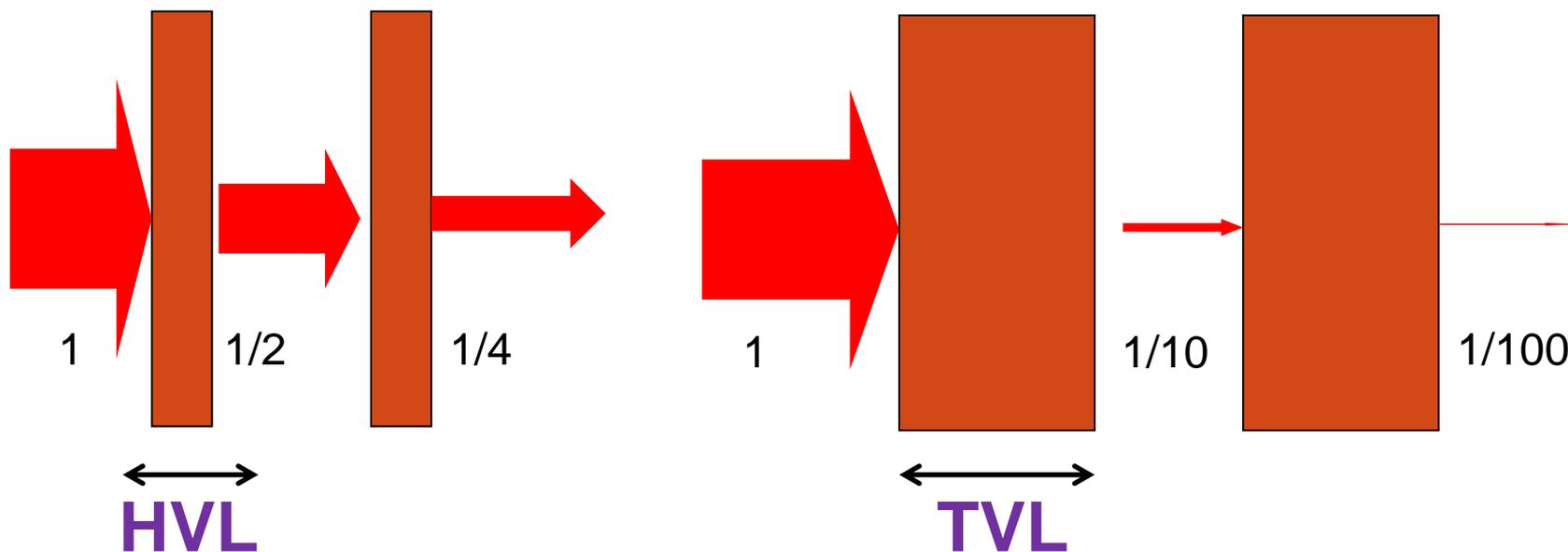
簡易的 γ 或 X 射線之屏蔽估算

- ▶ 半值層法：衰減一半 γ 或 X 射線輻射場強度之屏蔽材質厚度，稱為此材質之半值層 (HVL ; Half Value Layer)

輻射源	鉛(cm)	混凝土(cm)	鐵(cm)
^{137}Cs (0.662MeV)	0.65	4.8	1.6
^{60}Co (1.25MeV)	1.2	6.2	2.1
50kV X-ray	0.006	0.43	
100kV X-ray	0.027	1.6	
250kV X-ray	0.088	2.8	

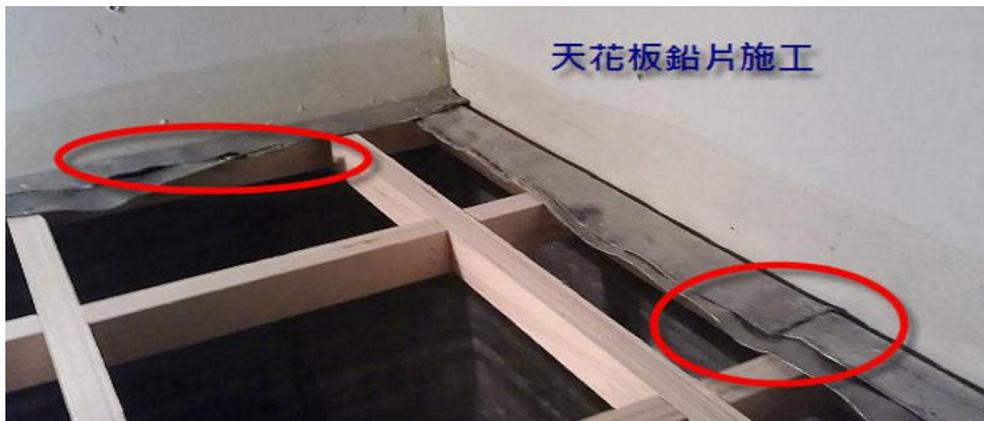
半值層與什一值層(輻射屏蔽設計)

- 半值層(HVL)：放射線強度衰減一半
- 什一值層(TVL)：放射線衰減十分之一
- 取決於不同能量與材質





鉛片在門片與門框處需要交疊



天花板鉛片施工

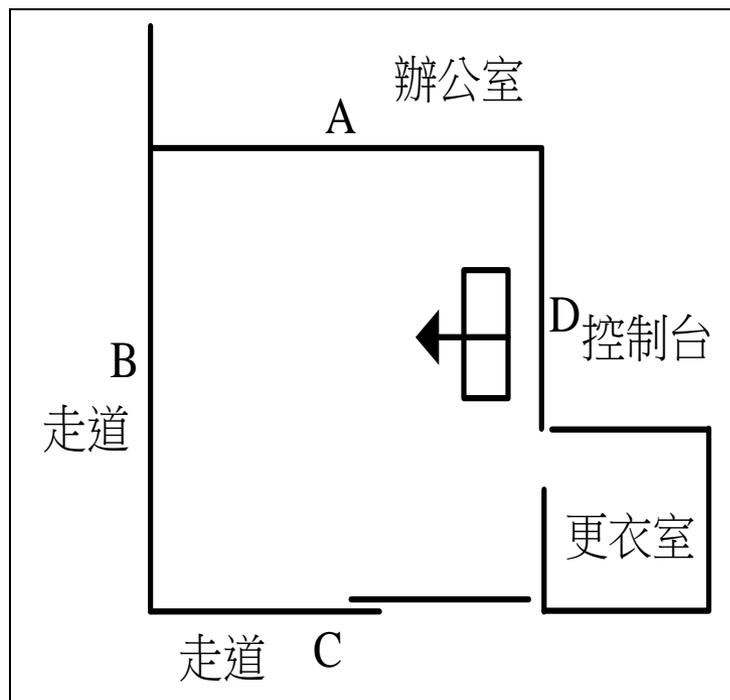


類型

- 一般診斷科X光機、一般透視X光機
- 移動式X光Portable
- 一般牙科X光機、牙科全口、牙口電腦斷層
- C-arm：心導管檢查儀、開刀房透視、碎石機
- 3D電腦斷層掃描儀
- 乳房攝影檢查儀
- 骨質密度檢查儀
- 放射治療模擬攝影（模擬定位儀）

一般X光機輻射防護

測量點	P	U	T	D	B _{ux}	B _{Lx}	K _{ux}	需屏蔽厚度	建議厚度
A牆：辦公室	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	2.34 mmPb	3
B牆：走道	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	5.12 mmPb	6
C牆：走道	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	2.34 mmPb	3
D牆：控制台	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	2.34 mmPb	3
天花板：護理站	0.002	1	1	4	3.2E-05	11.52	0.02	12.64 cmRC	18
地板：販賣部	0.002	1	1	4	3.2E-05	11.52	0.02	33.45 cmRC	18cm + 3mm



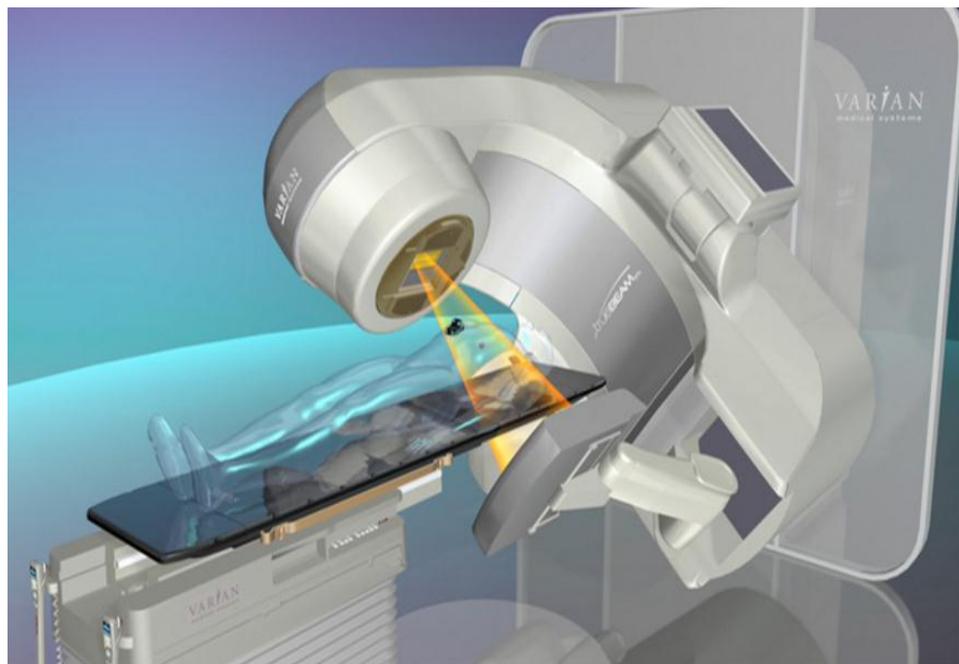
$$K = \frac{P(d_{pri})^2}{WUT}$$

$$K = \frac{1000 \cdot P \cdot d^2}{W \cdot f \cdot T}$$

$$W = mA \cdot \text{min} / \text{week}$$

直線加速器-Linear accelerator

- 最高能量：10MV (15MV)
- 最高劑量率：600cGy/min
- (2400cGy/min)
- 功能：癌症治療



直線加速器輻射防護

- 10MV TVL : 5.6cm Pb, 38.9cm RC
- 6Gy/min = 360Gy/hr(Sv/hr)
- 距離4公尺

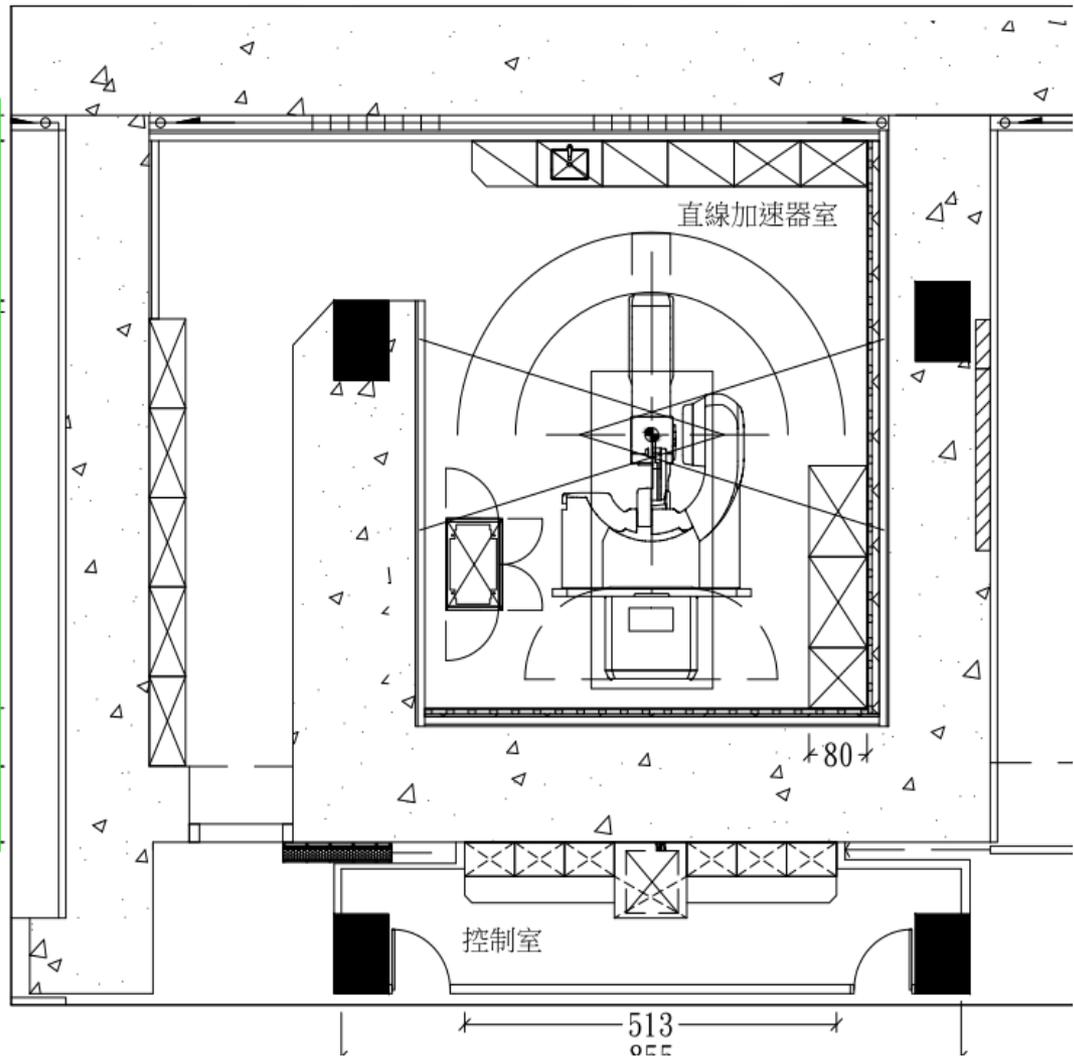
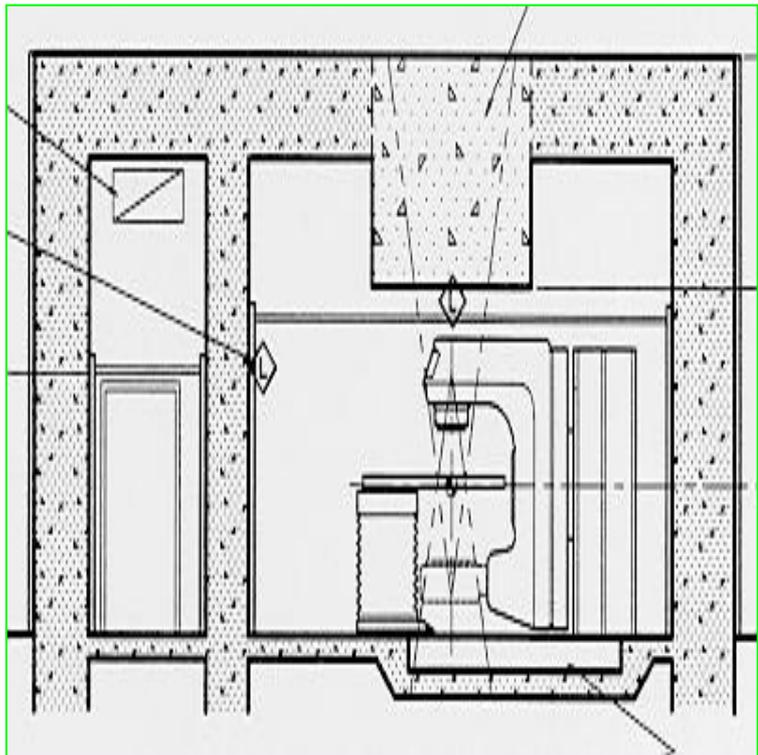
- 主射束 150cm RC + 22cm Pb
- 迷(宮)道 250cm Rc + 7cm Pb
- 300cm RC 0cm Pb or 45cm Pb
- 散射輻射、滲漏輻射
150cm RC + 5cm Pb

$$\begin{aligned} B_x &= \frac{P(d_{pri})^2}{WUT} \\ &= \frac{5 \times 10^{-7} (4)^2}{360} \\ &= 2.222 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_t &= \log\left(\frac{1}{B_x}\right) \\ &= 7.65 \end{aligned}$$

	Pb (cm)	RC(cm)	Dose rate
Linac HDR 10MV pri	20	191.9218	2400
Linac HDR 10MV sec	5	179.4182	2400
Linac HDR 6MV pri	12	208.8612	1400
Linac HDR 6MV sec	10	151.1645	1400
Linac 10MV pri	12	214.3528	600
Linac 10MV sec	5	146.2778	600

直線加速器治療室設計

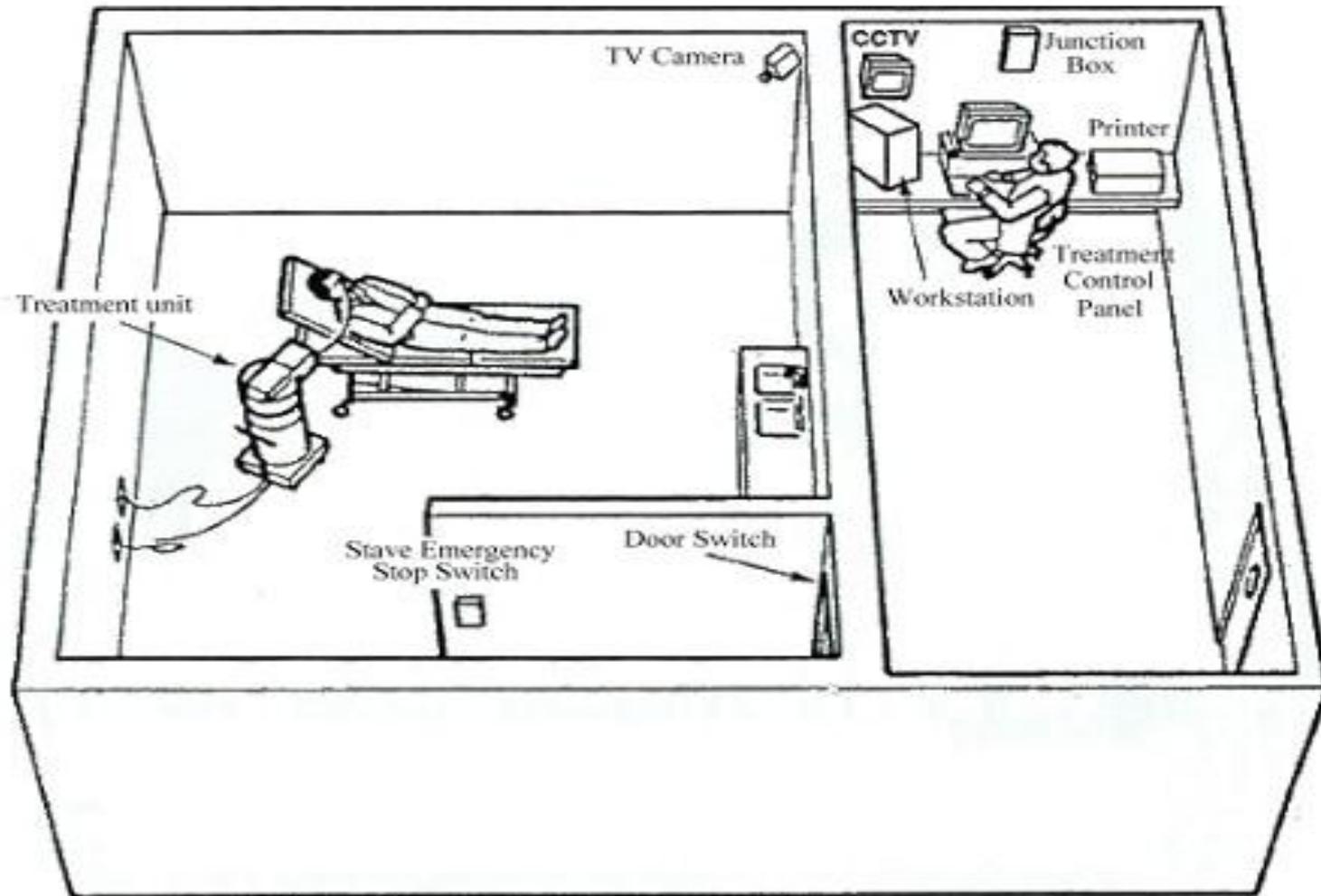


遙控後荷治療-Remote Control Afterloading Brachytherapy

- 最高能量：Ir192(0.468,平均0.38MeV)
- 最高劑量率：4.8cGy/hr (10Ci,1m)
- 功能：癌症治療



遙控後荷治療室設計

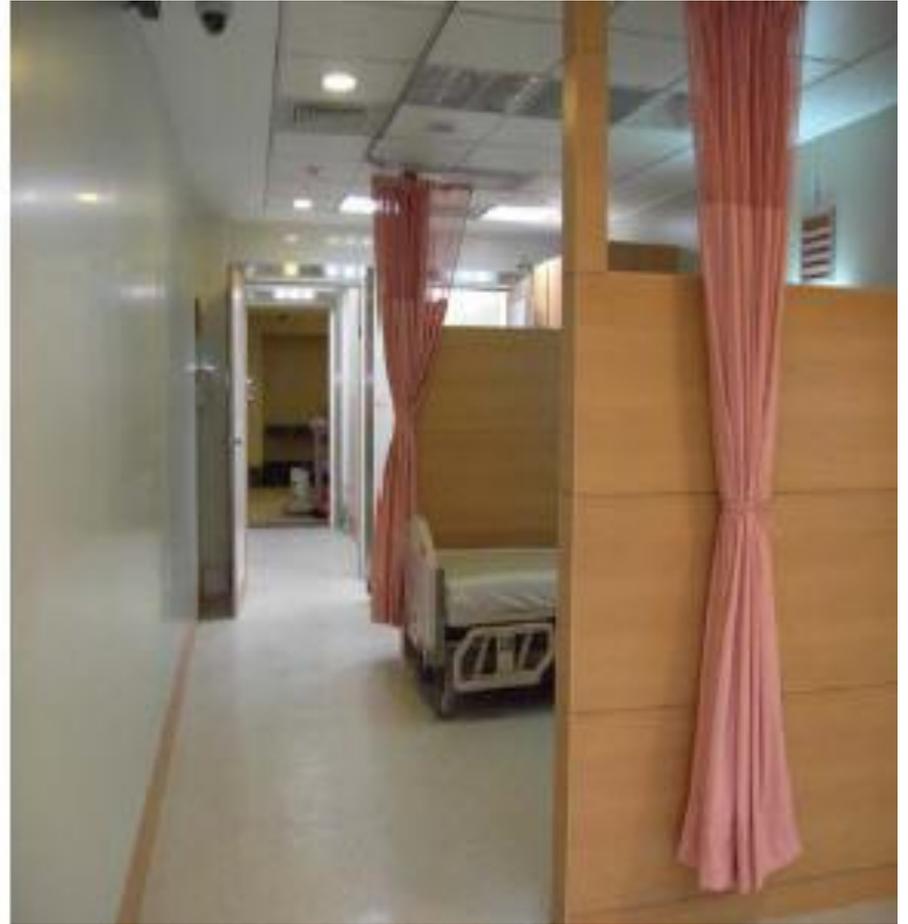


碘131治療-RAIT, radioiodine therapy

- 最高能量：0.723MeV g, 0.806MeV b
- 最高劑量率：220uSv/hr(200mCi,1m,剛服藥)
- 功能：甲狀腺癌治療



碘131病房設計



「輻射」，你想到什麼？

- 輻射看不到、摸不著、聞不到、嗅不出……
給人一種神祕又恐懼的感覺。
- 社會上普遍的氛圍---- 「逢核必反」
、「談輻(虎)色變」？
- 輻射是一種能量的發射(emission)與
傳遞(transmission)。
- 當我們瞭解游離輻射之來源、種類、特性、
在醫療、科技、農業、工業各方面的應用與
輻射安全的防護。事實上～

「輻射」是老天爺賜給我們的禮物！

參考文獻

1. 輻射防護法規命令

<http://cc23.aec.gov.tw/www/service/rules/index05.php/>

2. 修正「游離輻射防護安全標準」

[http://www.aec.gov.tw/www/news/article.php?id=1019
&seledtype=1](http://www.aec.gov.tw/www/news/article.php?id=1019&seledtype=1)

3. 游離輻射防護彙萃，行政院原子能委員會核能研究所編印，修訂三版，台北(1998)。

4. 蔡長書，輻射防護原理，游離輻射安全防護B第四章，慈濟技術學院出版，民國97年初版。

5. 葉錫溶，蔡長書編著，放射化學，新文京出版，民國102年第三版)。

6. 蔡長書主編，臨床醫學影像與放射治療技術暨輻射安全防護，慈濟技術學院出版，民國99年初版。
7. 翁寶山、陳為立等編著，游離輻射防護彙萃，中華民國輻射防護協會出版，民國102年修訂 四版。
8. 蘇青森編著，輻射應用，東華書局，民國84年初版
9. Richard F. Mould, "A century of X-rays and Radioactivity in Medicine" Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia, ISBN 0-7503-0224-0, 1993.
10. J. Kenneth Shultis and Richard E. Faw, "Radiation Shielding," American Nuclear Society, Inc., La Grange Park, Illinois 60526, USA, 2000.
11. Glenn E Knoll, Radiation Detection and Measurement Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-07338-5, USA, 2000.

Thank for your attention !