

陽明交通大學 游離輻射防護教育訓練



主講人：蕭憲明



行政院原子能委員會核能研究所

2022.9.27

2022.9.29

- 講員簡介
- 認識游離輻射
 - 輻射來源
 - 輻射之應用
- 游離輻射防護
 - 法規要求
 - 防護原則
 - 體內&體外防護
 - XRD操作防護準則



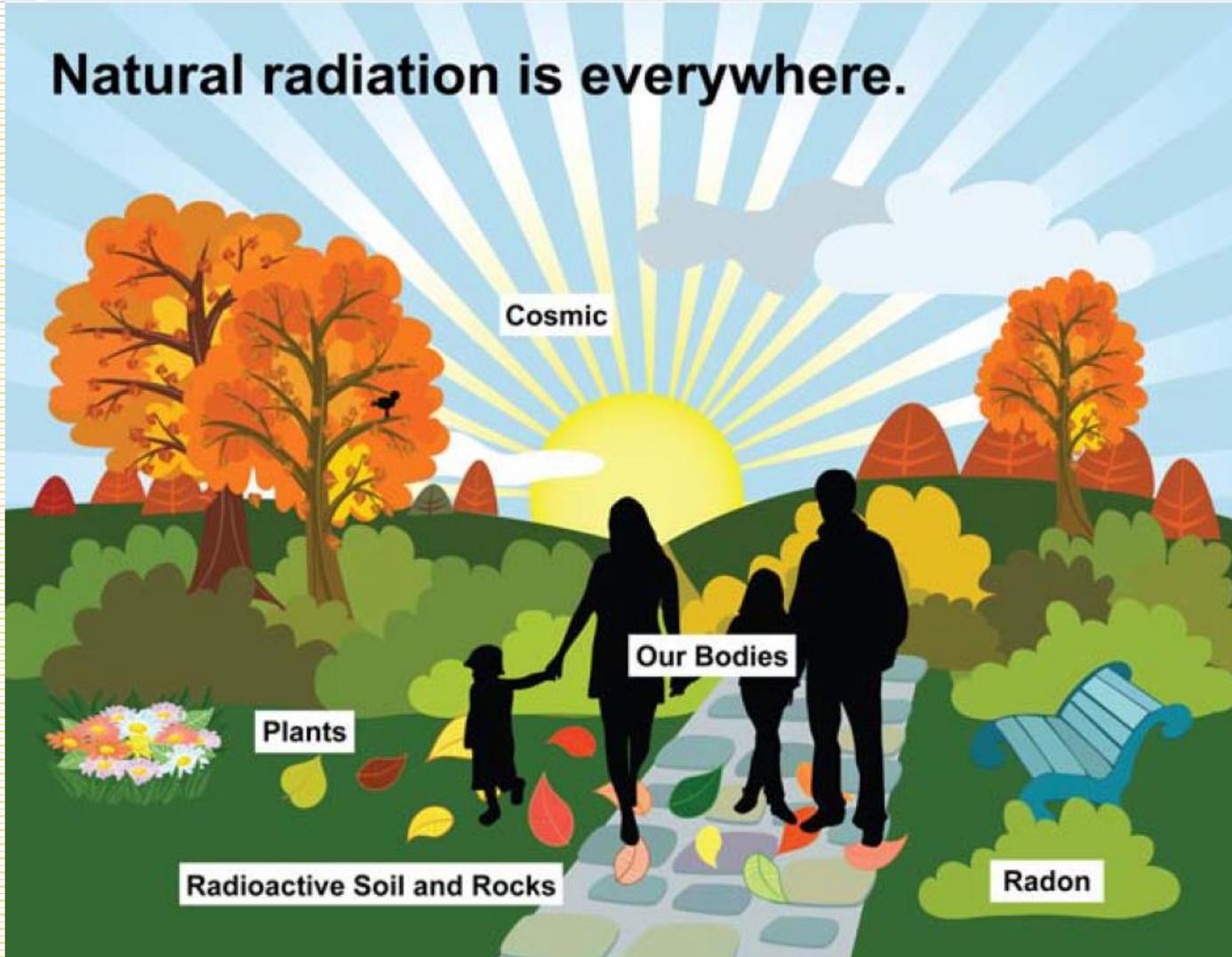


講員簡介

- Hsien-Ming Hsiao (蕭憲明)
 - Associate Researcher, Chemical Engineering Division, Institute of Nuclear Energy Research 化工組/核能研究所
 - Master of Chemical Engineering, Doctor of Material Science and Engineering, NTUST
 - Participated Projects at INER
 - Mo-99 Radioactive Waste Water Treatment (inorganic and organic type, including removal of nuclides, nitrate and Hg ion)
 - Removal of Uranium and Fluorine Separately from Radwaste Water
 - Engineering Evaluation of SPU (Stretch Power Uprate) Project in Waste Management System for Nuclear Power Plants
 - Decommissioning Project for Chinshan & Kuosheng Nuclear Power Plants
 - WBR fuels stabilization



輻射來源(1/20)



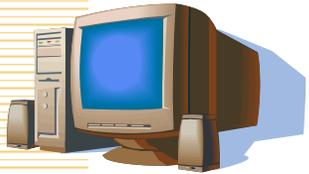
- Radioisotopes such as Po-210, C-14 and K-40 naturally occur within the human body.
- Potassium-40 (K-40) is present in many common foods including **red meats, white potatoes, carrots, bananas, lima beans and Brazil nuts.**



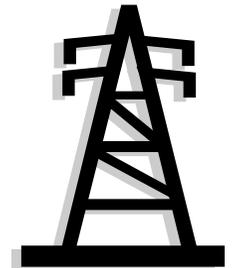
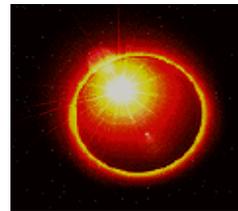
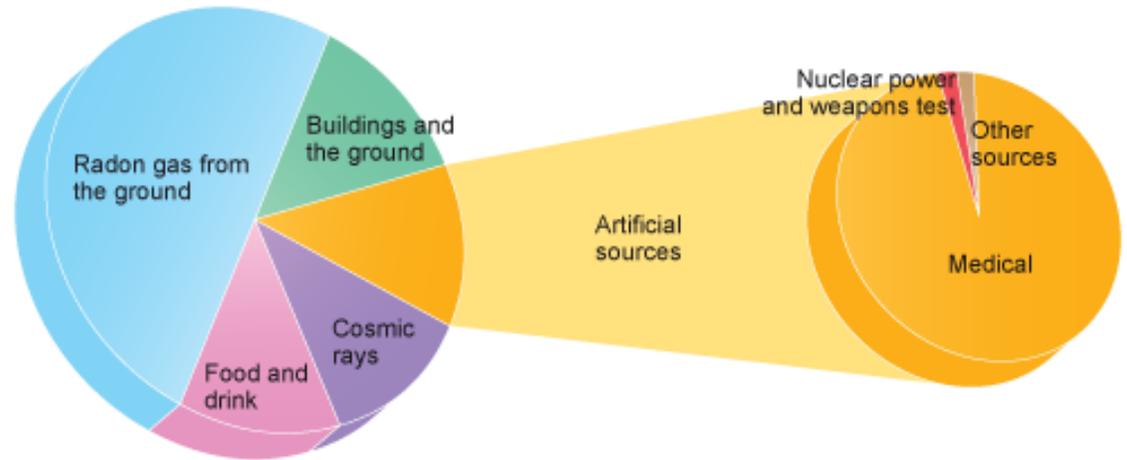
Courtesy from: <http://nuclearsafety.gc.ca/eng/resources/fact-sheets/natural-background-radiation.cfm>



輻射無所不在



WORLD NUCLEAR ASSOCIATION



The annual average effective dose from natural background radiation is approximately **1.6 millisieverts (mSv)** in Taiwan and 2.4 mSv worldwide.



輻射來源(3/20)-天然背景

地表輻射

- 世界上每個地區的土壤或岩石，會因地質不同而含有不同量的天然放射性物質（如鈾-238、釷-232、鐳-226 或鉀-40 等），所以也就有不同的天然背景輻射，如中國廣東的陽江、印度的喀拉拉邦等地區，天然背景輻射的劑量就比較高。

氦氣

- 天然輻射的主要來源之一，因為土壤及岩石都含有少量的天然鈾及釷，在衰變時會產生氦氣，因此我們的空氣與環境中，也不免有微量氦氣的存在。



▲ 北投石表面最高劑量約為 1.29 微西弗/時（台灣地區的天然背景輻射範圍在 0.2 微西弗/小時以下）

◀ 因地質不同就會有不同的天然背景輻射。北投石是台灣著名的放射性礦石（北投溫泉博物館鎮館之寶）。



輻射來源(4/20)-天然背景

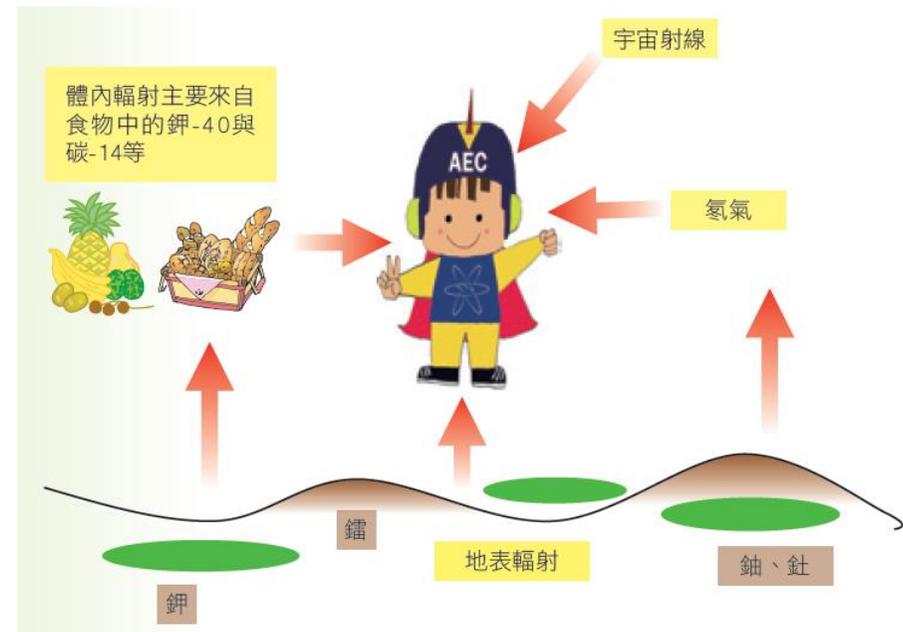
- **宇宙射線**

- 宇宙中充滿了宇宙射線，會穿過大氣層成為我們的天然背景輻射的來源之一，所以離地表的高度越高，所接受宇宙射線的劑量就會比較高。

- **體內輻射**

- 每人體內平均有4000-7000 貝克(Bq)的放射性物質，主要來自於食物的攝取。

- 以上四項加起來就是天然背景輻射，台灣平均每人接受的天然背景輻射為1.62 mSv/year，世界平均值為2.4 mSv/year。



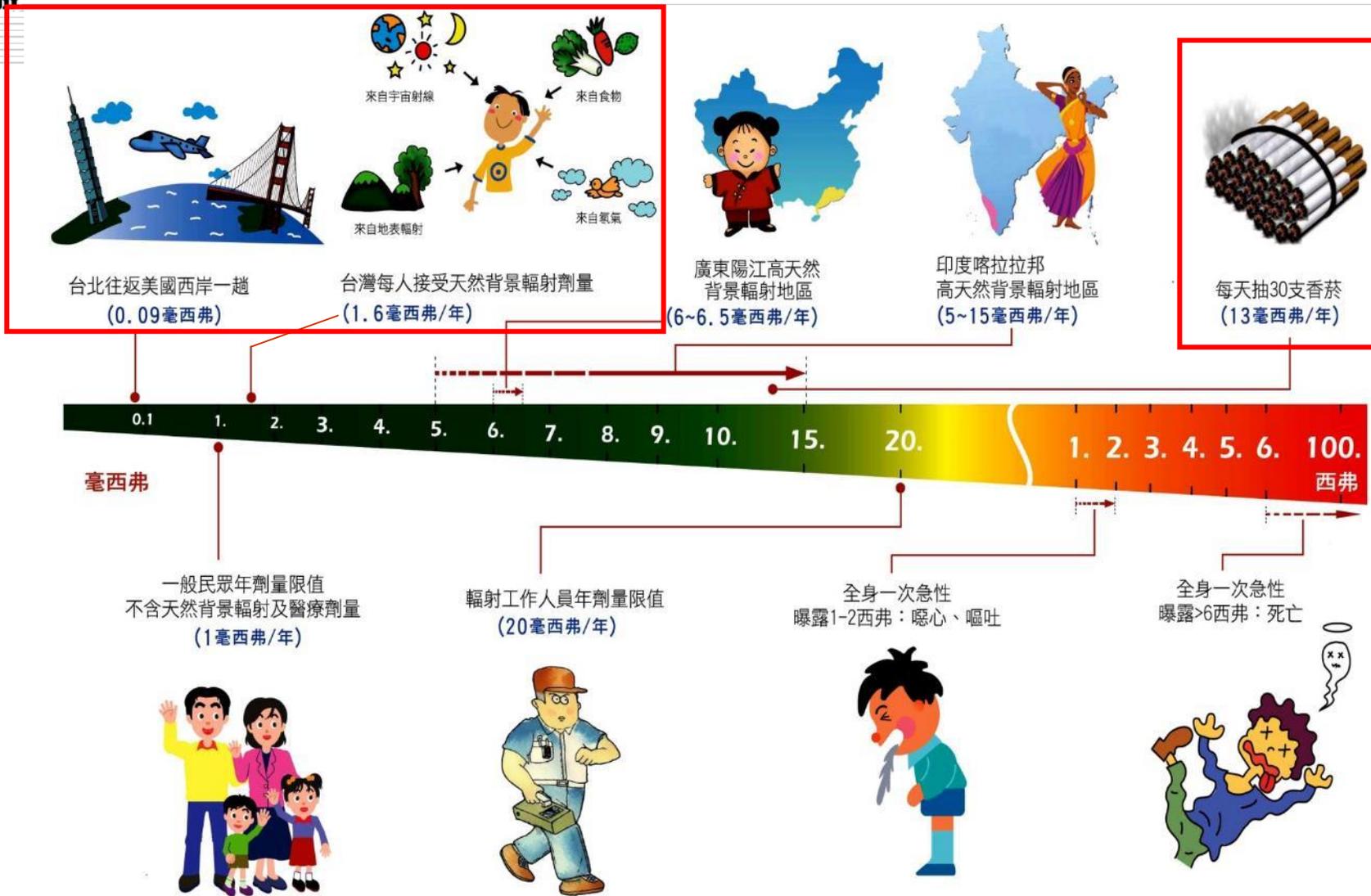
輻射來源(5/20)-背景輻射

人類暴露於游離輻射的平均值 (mSv/年)

輻射來源	全世界 ^[12]	美國 ^[13]	日本 ^[14]	Remark
空氣	1.26	2.28	0.40	主要來自空氣中的氡
食物與飲水	0.29	0.28	0.40	K-40, C-14等
來自地面	0.48	0.21	0.40	與土壤或建材相關
宇宙輻射	0.39	0.33	0.30	與海拔高度相關
小計 (自然來源)	2.40	3.10	1.50	
醫療	0.60	3.00	2.30	全世界的統計中排除放射線療法 美國統計中多為電腦斷層與核子醫學
消費	-	0.13		自抽菸、航空飛行、建築物等
核子試爆	0.005	-	0.01	1963年極值為0.01mSv，隨時間下降至今，越接近試爆點越高
職業暴露	0.005	0.005	0.01	全世界工人平均為0.7 mSv, 多為礦坑中的氡 ^[12] 美國多為醫療與航空從業者 ^[13]
車諾比核災	0.002	-	0.01	1986年極值為0.04，隨時間下降至今，越接近事故地點越高
核電廠的核燃料循環	0.0002		0.001	接近發生源時可高至0.02 mSv
其他	-	0.003		
小計 (人工來源)	0.61	3.14	2.33	
總計	3.01	6.24	3.83	millisievert per year



輻射來源(7/20)



註：1 西弗 = 1000毫西弗

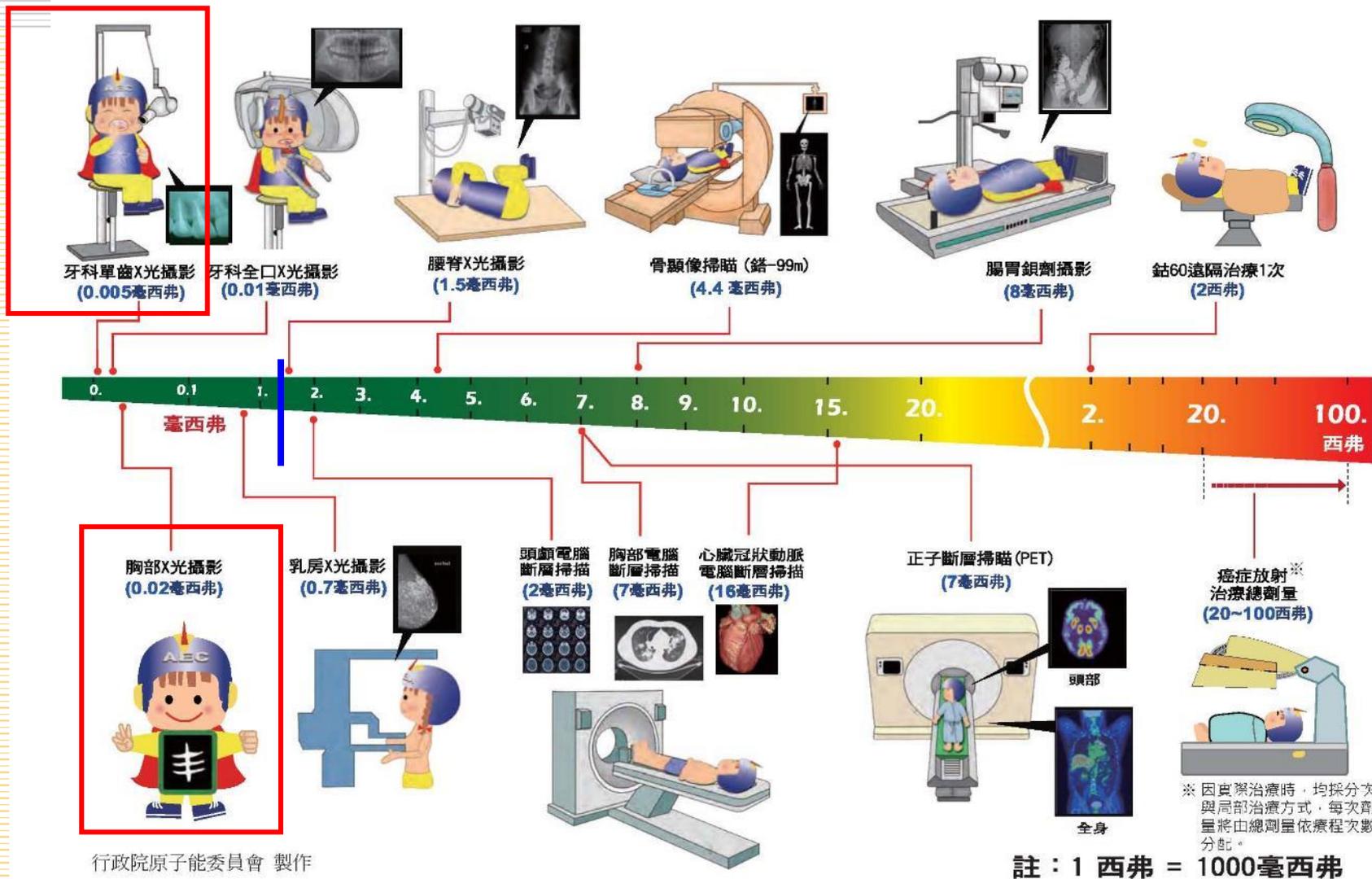


輻射來源(8/20)-天然背景與高度之關係

- 測量輻射劑量和玉山高度的關聯，結果顯示從海拔224公尺的觸口出發，到海拔2631公尺的塔塔加遊客中心，天然背景輻射會隨著高度的增加而增高，主要就是因宇宙射線增加所致。但這些天然背景輻射的變化，均在可接受的安全範圍內。



輻射來源(9/20)



輻射來源(10/20)

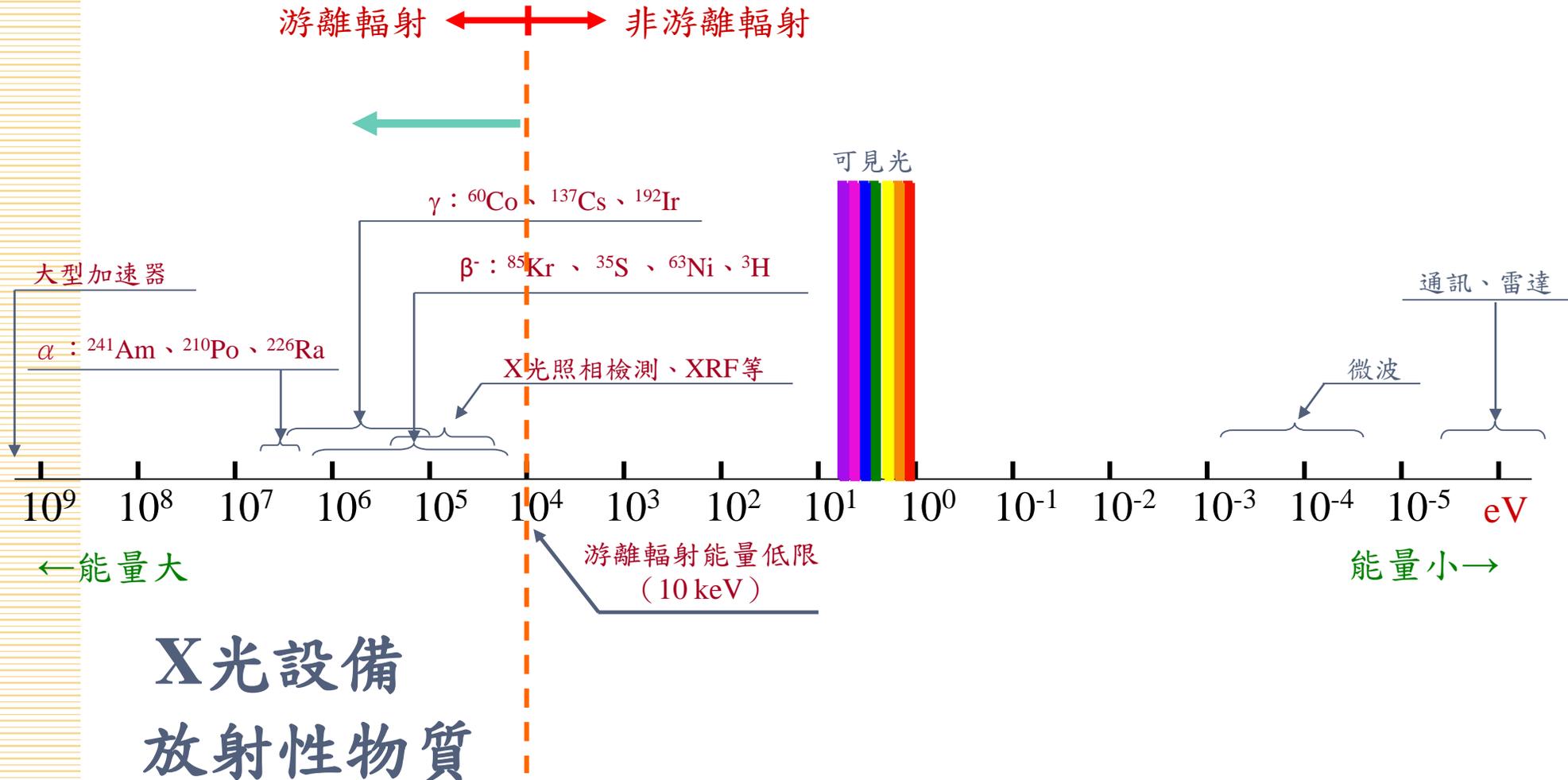
輻射

- 輻射是看不到、聞不到、摸不到，它是一種能量。如果依據能量的高低，可將輻射區分為”非游離輻射”與”游離輻射”。
- **Nonionizing Radiation (非游離輻射):** Light, radio, and microwaves 能量低，無法使物質產生游離作用
- **Ionizing radiation(游離輻射)** is produced by unstable atoms. Unstable atoms have an excess of energy or mass or both. 能量高，能使物質產生游離作用
- Radiation can also be produced by high-voltage devices (e.g., x-ray machines).



輻射來源(11/20)-游離輻射

常見游離輻射源



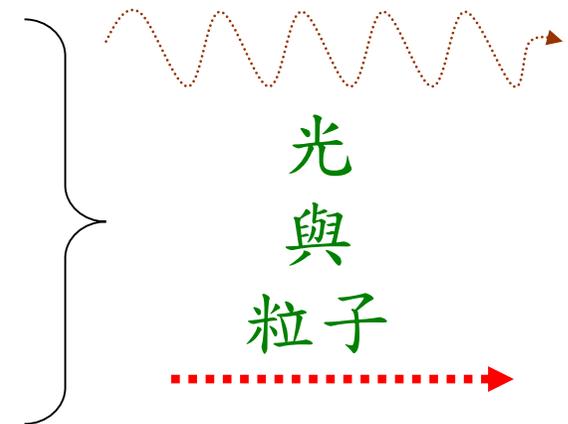
輻射來源(12/20)

- 游離輻射源

放射性物質



X 光機與加速器



輻射來源(13/20)



What is radiation? (4:02)

輻射來源(14/20)-游離輻射&非游離輻射



- 游離輻射:指**能量高**到可使物質產生游離作用的輻射。
 - 依型態分為(1)粒子輻射及(2)電磁輻射。

10 keV

- 非游離輻射:指**能量低**無法使物質產生游離的輻射，例如太陽光、燈光、紅外線、微波、無線電波、雷達波等。



輻射來源(15/20)-游離輻射&非游離輻射

項目	非游離輻射 	游離輻射 
能量	能量低，物質不會發生游離現象	能量高，與物質作用產生正、負電荷的游離現象
種類	電磁波、短波、長波、無線電波、雷達、微波、紅外線、可見光、紫外線等	α 粒子、 β 粒子、 γ 射線、X射線、中子等
來源	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	行政院環保署(高壓電塔、變電所)、 國家通訊傳播委員會(基地台管理)、 經濟部標準檢驗局(商品檢測)	行政院原子能委員會



輻射來源(16/20)-輻射單位

• 活度(Activity)

- 一定量之放射性核種，在某一時間內發生之自發衰變數目。
- 傳統單位：**Curie (居里)**
- 國際單位：**Becquerel, Bq (貝克)**

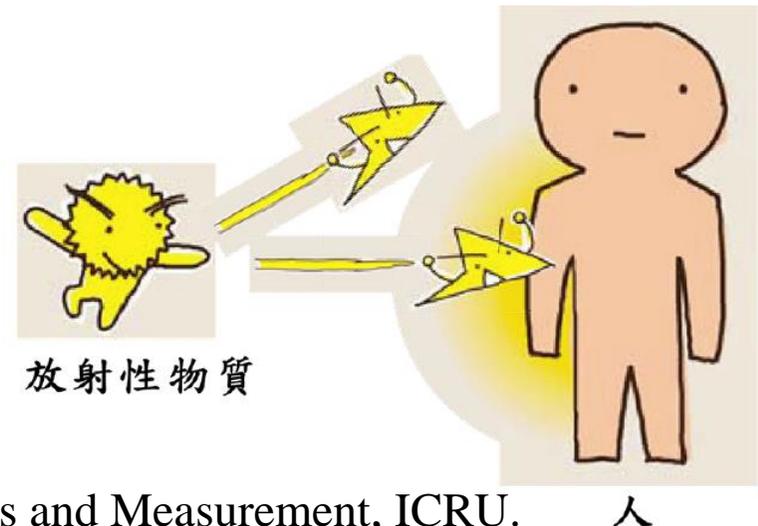
• 劑量(Dose)

- 物質吸收之輻射能量。
- 傳統單位：**Rem (倫目)**
- 國際單位：**Sievert, Sv (西弗)**

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ decay/s}; \quad 1 \text{ Sv} = 1,000 \text{ mSv}$$

$$1 \text{ mSv} = 1000 \mu\text{Sv}; \quad 1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$



In accordance with International Commission on Radiation Units and Measurement, ICRU.

人



輻射來源(17/20)-放射性核種

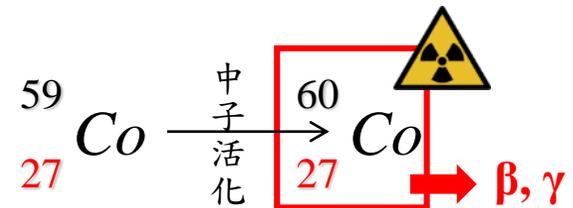
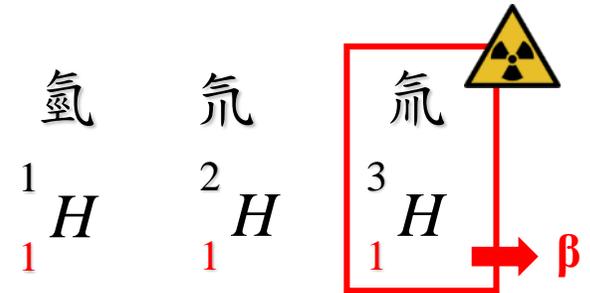
- 核種: 原子的種類

質量數



原子序
= 質子數

中子數

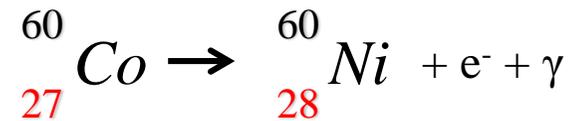


- 放射性核種: 能自發放出的輻射的不穩定核種

- 發出輻射後，衰變成另一種核種

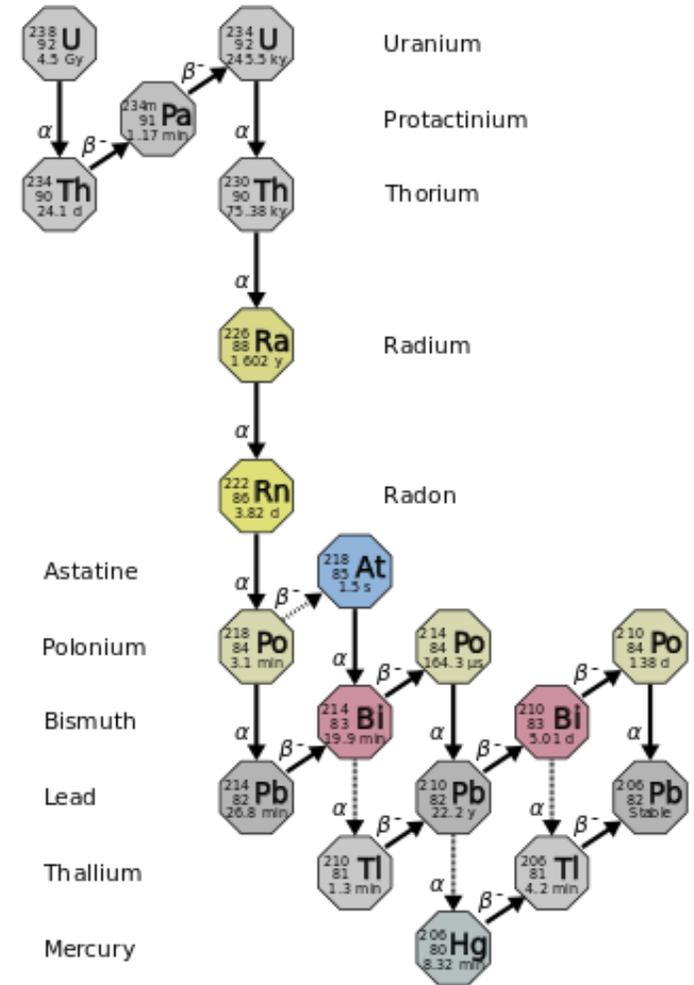
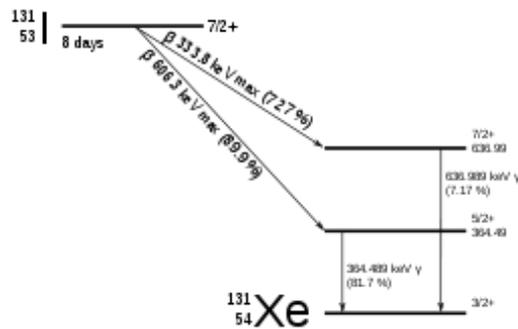
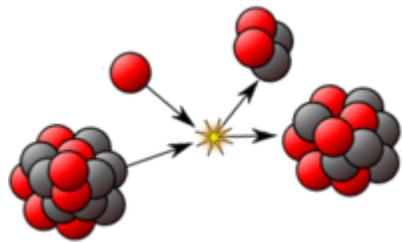
- 具有一定的半衰期($T_{1/2}$ ，原子數目衰減到初始值一半所需之時間)

- 原子數目隨時間呈指數衰減($N=N_0e^{-\lambda t}$ ， $T_{1/2}=0.693/\lambda$ ， λ 為衰變常數)

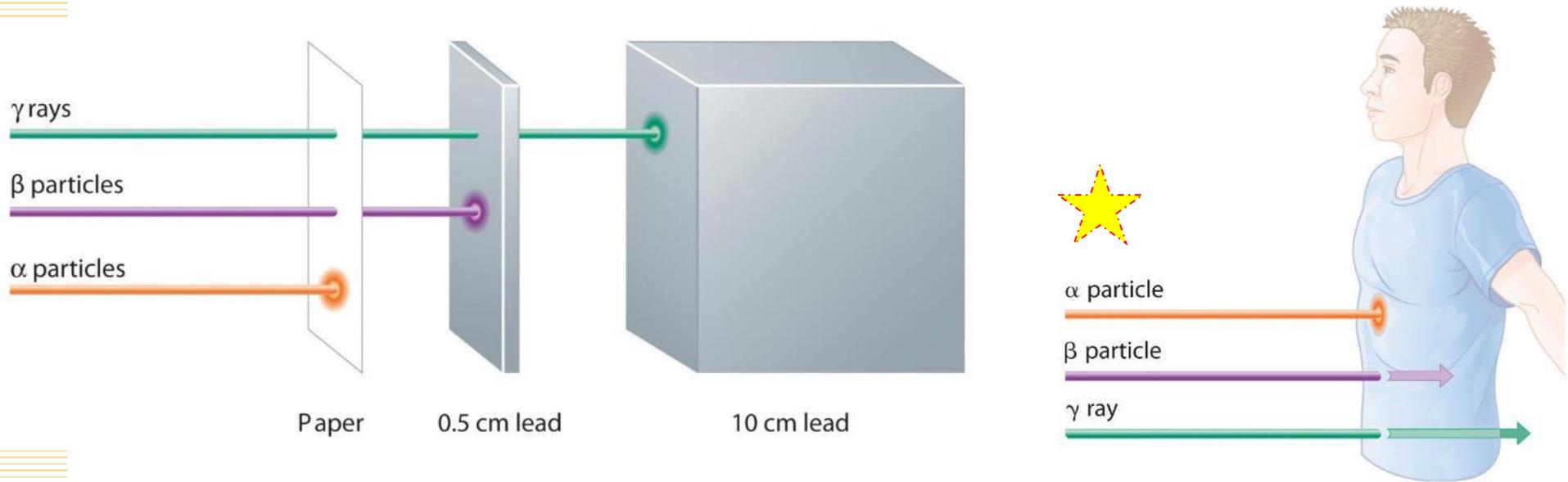


輻射來源(18/20)-核種半衰期

核種	半衰期	衰變類型	主要來源
U-238 (天然鈾)	4.468×10^9 年 (45億年)	α 、 γ	礦物、土壤
Co-60	5.27年	β 、 γ	中子活化Co-59、 腐蝕產物(不銹鋼)
Cs-137	30.17年	β 、 γ	分裂產物
Sr-90	28.8年	β	分裂產物
Pu-239	24,110年	α	分裂產物
I-131	8.02天	β 、 γ	分裂產物



輻射來源(19/20)-粒子輻射



- **α 射線**：He 的原子核帶正電、質量大、穿透力差、射程短、無法穿透皮膚表層。
- **β 射線**：電子帶負電、質量體積都比 α 小、穿透力比 α 強，會對人體造成局部體內曝露或皮膚傷害。
- **γ 與X射線**：都是電磁波不帶電荷也沒有質量，穿透力強，對人體的主要傷害是體外照射。
- **中子射線**：不帶電，不同能量的中子對人體傷害的程度截然不同。

Courtesy from: http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical_Chemistry/Nuclear_Chemistry/The_Interaction_of_Nuclear_Radiation_with_Matter
<http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0/s05-05-the-atom.html>

輻射來源(20/20)



<https://www.youtube.com/watch?v=keEaZ0uYjMY>

醫療輻射

- 輻射在醫療領域的利用廣泛，為達到檢查或治療的目的，並提供醫生診斷或治療必要的資訊，所以聽從醫生指示接受輻射相關的檢查或治療，是**考量健康上的好處大於輻射的影響**，如有疑慮，可與醫師多做溝通後再受診。
- 癌症放射治療的總劑量雖然比較高，但會因病情不同而有不同的治療劑量，且因為放射治療是一段時間內**分次**照射在腫瘤部位，所以不會產生嚴重或致命的危險。



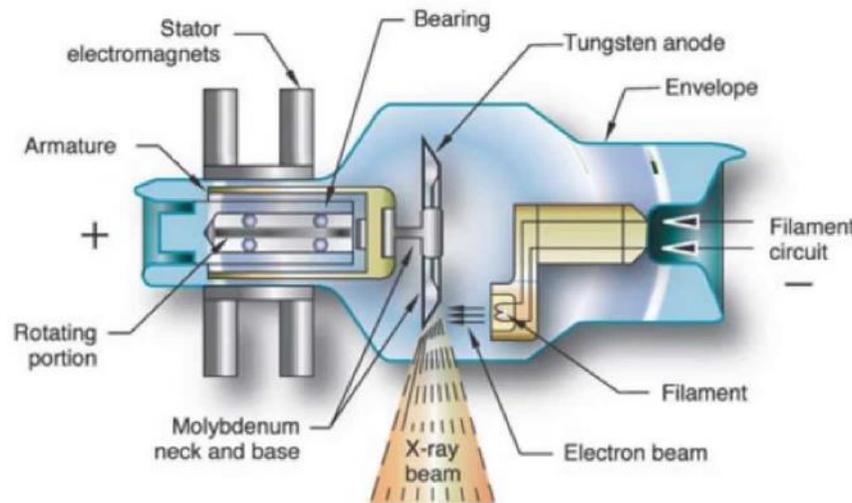
輻射之應用 (2/13)

醫學應用	放射診斷	核子醫學	放射治療
游離輻射種類	X 射線(制動輻射與特性輻射)	放射性同位素釋出之輻射 β粒子、γ-ray	X光射線、質子、重荷粒子、電子、γ-ray
目的	取得人體組織器官之 解剖影像	取得人體組織器官之 功能影像	利用高能游離輻射 殺死體內癌細胞
應用類別	CT、一般診斷、特殊攝影、乳房攝影、血管攝影等	核醫造影、放射性同位素治療等	直線加速器、加馬刀、電腦刀、質子治療等
能量	千伏特等級	主要為千伏特等級	百萬伏特等級
輻射殘留	不會	會(隨時間物理衰變與生理代謝)	幾乎沒有

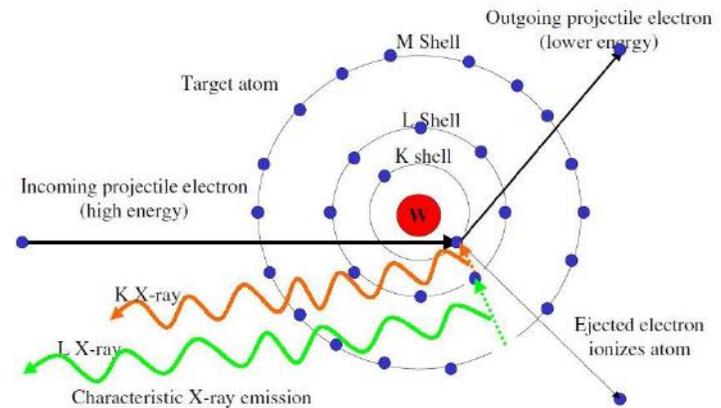


輻射之應用 (3/13)-產生X光

- **制動輻射**：加速後的電子撞擊金屬靶，電子突然減速，其損失的動能會以光子形式放出，形成連續X光光譜。
 - 電子能量**99%能量以熱能**逸失，約**1%轉為X射線**
- **特性輻射**：電子將金屬原子的內層電子撞出。於是內層形成電洞，外層電子躍遷回內層填補電洞，同時放出光子。



X光管構造



特性輻射產生過程

圖片來源：[Physics Project](#)、[slideplayer.com](#)

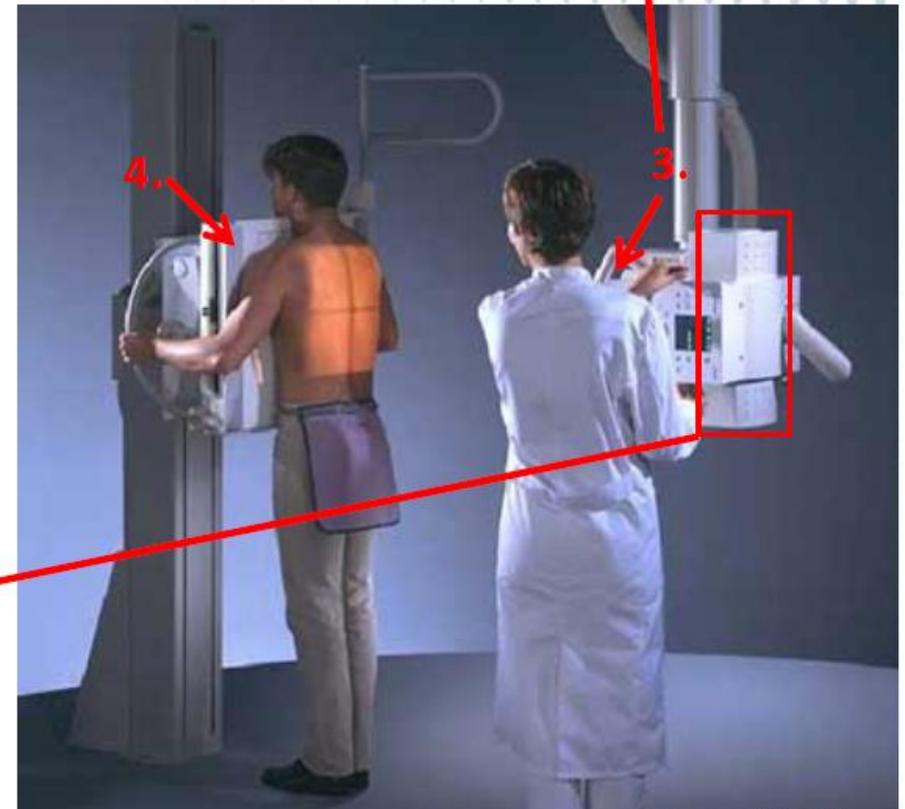
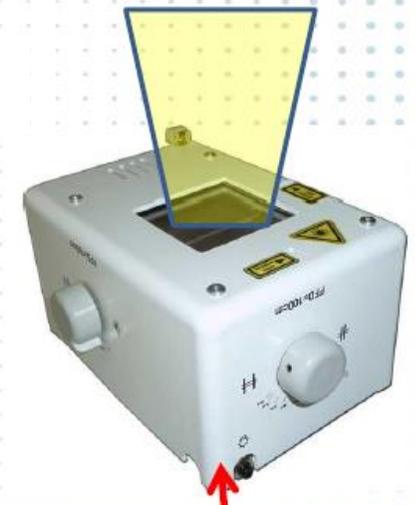
8





輻射之應用 (4/13)-攝影X光機

- 硬體組成元件主要包含：
 1. X光管(x-ray tube)：產生X光
 2. 管套(tube housing)：冷卻與減少滲漏輻射
 3. 準直儀(collimator)：調整X光照野大小
 4. 成像偵檢器：接受X光，產生數位影像



輻射之應用 (5/13)-放射診斷

- 食道攝影、小腸攝影、上腸胃道攝影、下腸胃道攝影、靜脈注射泌尿道攝影、HSG輸卵管造影術、解尿膀胱尿道攝影、逆行性膀胱攝影



食道攝影



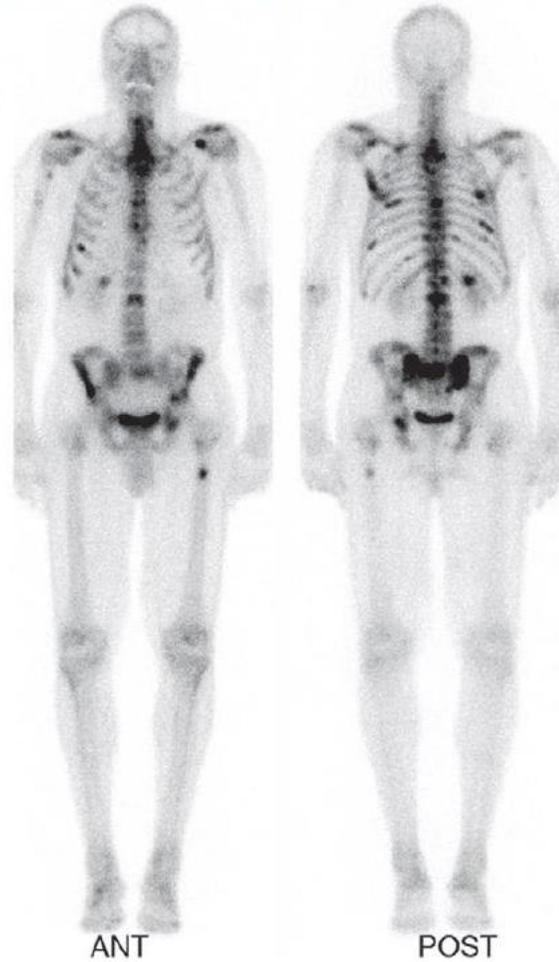
靜脈注射泌尿道攝影



下腸胃道攝影

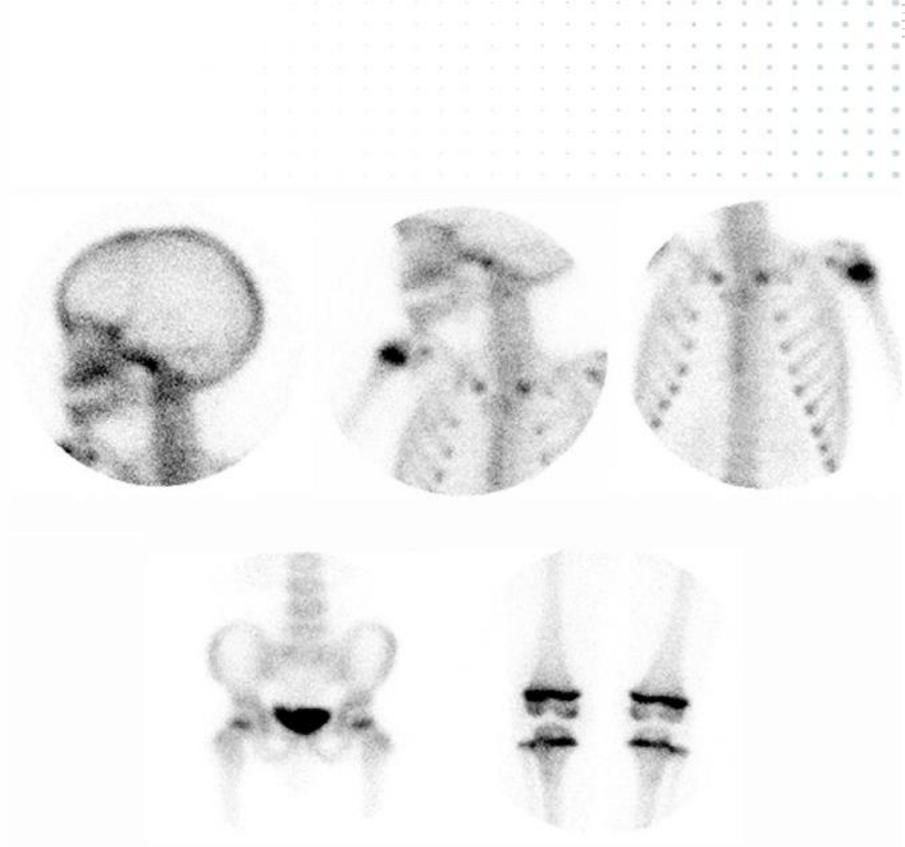
圖片來源：[自由時報](#)、[Wikipedia](#)、[民報](#)

輻射之應用(6/13)-核子醫學



前列腺癌骨轉移

圖片來源：Nuclear Medicine (Fourth Edition)



未成年少年骨骼掃描

輻射之應用 (7/13)-核子醫學

- 利用藥物攜帶放射性同位素到達欲診斷造影之器官，再利用閃爍攝影機(gamma camera)偵測同位素所釋放之 γ 射線，來達到生理機能診斷及造影之目的。
- 目前應用最廣的是**Tc-99m**，因為其能量適中(140KeV)、無貝他(β)射線，可減少病人不必要之劑量、半衰期適中(6小時)及取得方便(可由Mo-99/Tc-99m孳生器獲得)
- 其他常用之同位素有：F-18、I-131、Tl-201



輻射之應用(8/13)-放射治療

- 目前最常見-直線加速器
 - 百萬電子伏特 (MeV) 能量
 - 高能電子束或X射線(4-25 MeV)
- 其他:加馬刀(多束鈷六十射源聚焦)、電腦刀(機械手臂帶動加速器)、螺旋刀、諾力刀、銳速刀....



- 動物用醫療輻射
- 輻射照射
 - 適當運用輻射的能量來照射食品，可以抑制發芽、殺蟲滅菌或防腐保鮮；既不會降低食品原有的天然養分，也不會讓食品含有放射性。
 - 醫療器材的滅菌處理，如針筒、紗布、棉花棒、藥膏等等，由於一般高溫消毒易破壞品質，而輻射本身不具高熱，因此輻射消毒滅菌，有其應用上的優勢。

準備以 X 光檢查為受槍傷的丹頂鶴 (丹丹) 取出彈頭



準備利用 X 光機為老虎進行身體檢查



食品包裝標示之輻射照射處理標章



以輻射照射大蒜可抑制發芽



輻射之應用 (10/13)

- 古物研究

- 輻射應用於古文物之鑑定、修復、保存，或於未知領域的探索研究，也是相當有效的工具。



王子木乃伊接受 64 切電腦斷層掃描

工業應用

- 利用放射線照相技術，可以檢測焊接點和金屬鑄件的裂縫
- Kr-85、Ar-41、Xe-133或Kr-79等測定氣體管路的漏泄位置
- 生產線上測量物品厚度、密度及液位高度
- 用於改變分子結構使塑膠硬化
- 近年來由於金價高漲、能源短缺，輻射也應用在黃金成份的檢測及石油等地下資源的探勘上

國土安全

- 為確保國土及飛航之安全，機場普遍使用X光機檢查旅客手提行李及託運貨物，港口亦會使用X光設備或放射性物質，查緝進口、出口或轉口貨櫃中是否有夾帶爆裂物或違禁品。



輻射之應用 (12/13)

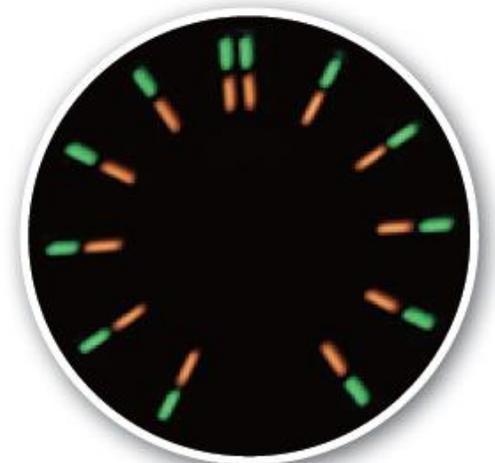
- 一般消費性產品
 - 環境中的土壤、水及空氣中均含有微量的鈾、釷系列及鉀-40等天然放射性元素，因此許多民生消費性產品，如陶瓷器、大理石、玻璃等或多或少都含有天然放射性物質。此外，某些消費性產品也會利用輻射達到特定之功能，也是我們生活中常遇到且熟知的物品，如偵測火災用的煙霧偵檢器含銻-241、為夜視使用目的而添加氚於鐘錶等等。



含銻 -241 的煙霧偵檢器



花崗岩大理石

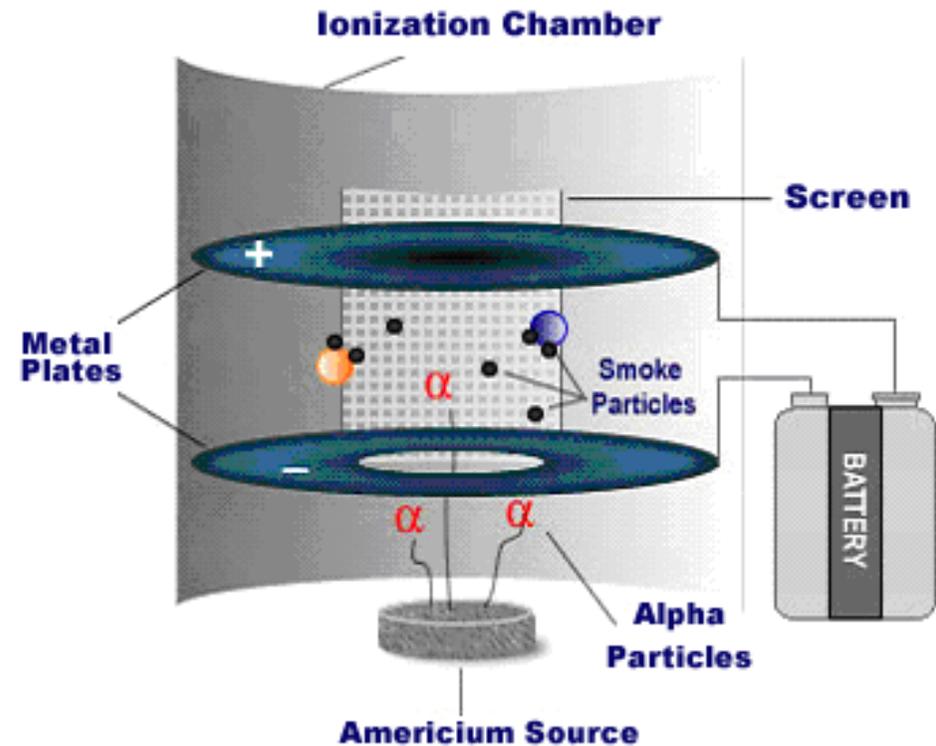


含氚的夜光錶面（夜晚）

輻射之應用 (13/13)

• 煙霧探測器

- 兩金屬片分別接上電池的兩極，當錒發出粒子，空氣中的分子被游離，電子、正離子被金屬片吸引。
- 兩塊金屬片之間容許有微弱的電流通過。一旦發生火警，**煙霧之中的粒子會中和探測器內的離子，使電流減弱**。探測器之中的電子零件一旦偵測到電流的減少，便會發出火警發生的訊號

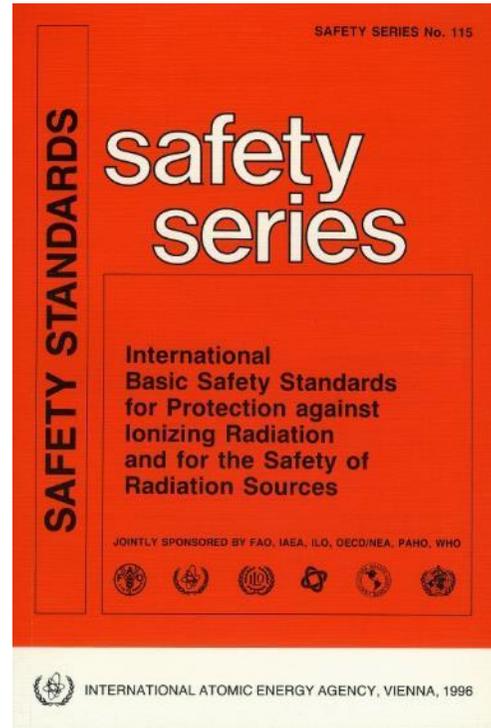
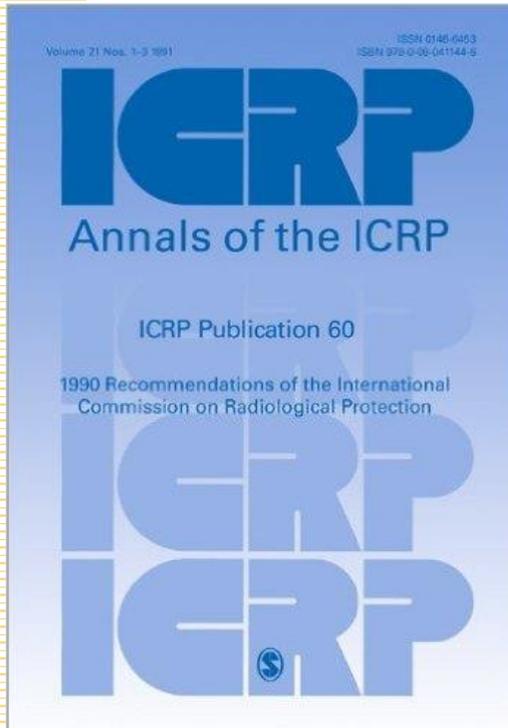


- 講員簡介
- 認識游離輻射
 - 輻射來源
 - 輻射之應用
- 游離輻射防護
 - 法規要求
 - 防護原則
 - 體內&體外防護
 - XRD操作防護準則



法規要求(1/14)-輻防法

- 游離輻射防護法(Ionizing Radiation Protection Act)
 - Effective on Feb. 2003
 - In compliance with **ICRP-60** and **IAEA-115** report



ICRP: International Commission on Radiological Protection
IAEA: International Atomic Energy Agency



法規要求(2/14)-ICRP

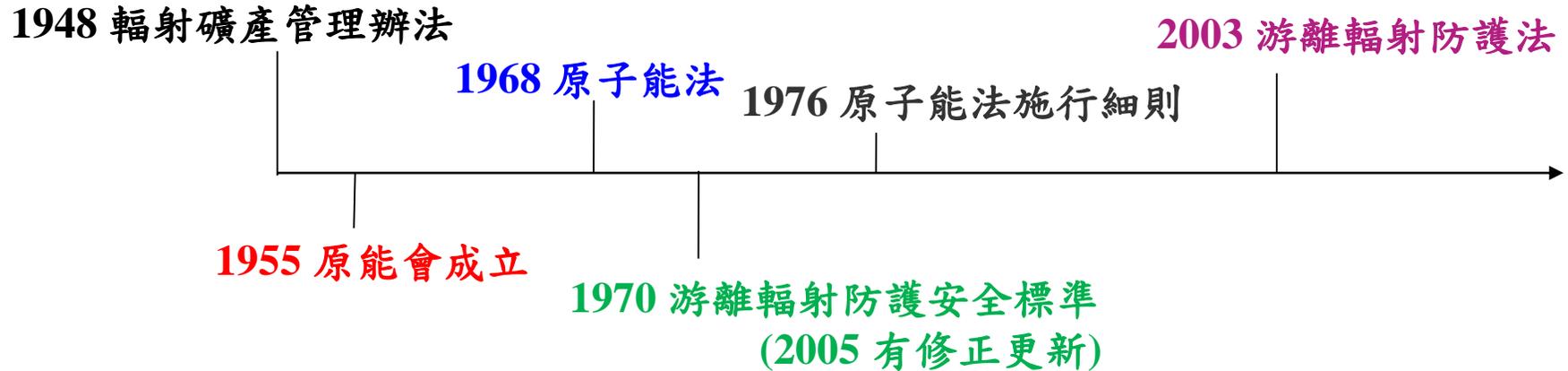
國際輻射防護的演變



<ol style="list-style-type: none"> 使輻射曝露盡可行的低(as low as practicable) 吸收劑量、等效劑量 	<ol style="list-style-type: none"> 劑量限制系統： <ol style="list-style-type: none"> 正當化(justification) 最適化(optimization of protection) 個人劑量限值(individual dose limitation)：工作人員 50mSv/y、公眾為 5mSv/y 考慮社會與經濟因素，使輻射曝露合理抑低。(as low as reasonable achievable) 定量機率效應的risk。 等效劑量、有效等效劑量。 射質因數、組織加權因數。 	<ol style="list-style-type: none"> 將劑量限制系統延伸成輻防系統： <ol style="list-style-type: none"> 區別實踐(practices)與干預(interventions) 重點在最適化，並導入劑量約束(dose constraint)的概念。 上修機率效應的risk。 劑量限度修改：工作人員平均 20mSv/y、公眾為 1mSv/y 等效劑量、等價劑量、有效劑量。 射質因數、輻射加權因數、組織加權因數。
--	---	---



法規要求(3/14) - 我國輻射防護體系演變



- 1955年，行政院下成立「原子能委員會」統籌推廣國內有關原子能各項工作及代表政府參加國際間相關活動。
- 1968年，「原子能法」公布施行。1967~1968年完成「游離輻射安全標準草案」，1970年發布。
- 1999年「游離輻射防護法草案」完成，2002年總統公布，2003年施行。



- 游離輻射防護法

- 第三條 主管機關

- 本法之主管機關，為行政院原子能委員會(AEC)。



- 第四條 排除對象

- 天然放射性物質、背景輻射及其所造成之曝露，不適用本法之規定。

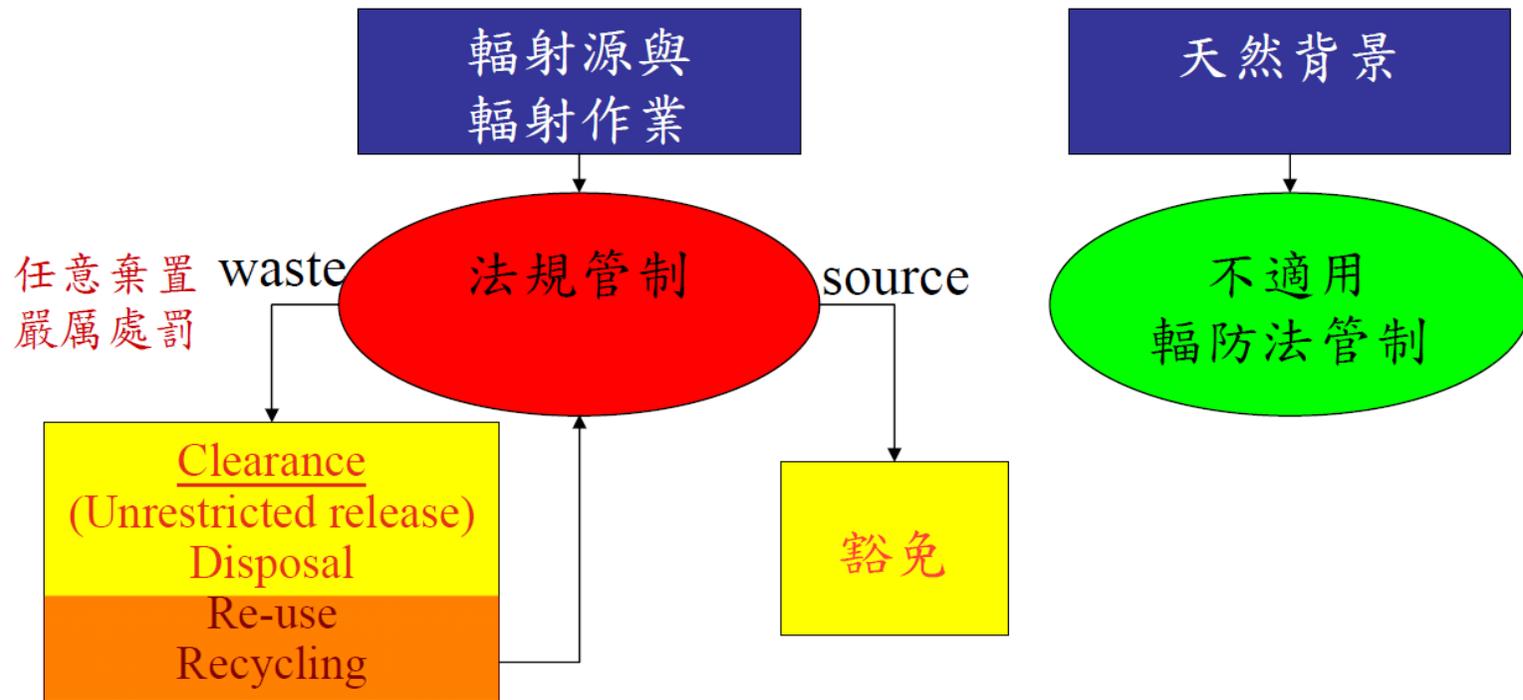
- 第五十三條 豁免

- 輻射源所產生之輻射無安全顧慮者，免依本法規定管制。





輻防管制系統



法規要求(6/14)-豁免管制

- Exemption(豁免): 依據「輻射源豁免管制標準」(2003.01.29)
 - Clocks and Watches: ^3H (氚)
 - Pure β^- pure nuclides, exemption: 10^9 Bq.
 - 下列可發生游離輻射設備(**instrument emits radiation**)，在正常操作情況下，距其任何可接近之表面○·一公尺處之劑量率每小時不超過一微西弗者：
 - 公稱電壓不超過三萬伏特(**less than 30,000V**)之可發生游離輻射設備。
 - 電子顯微鏡。
 - 陰極射線管。
 - 電視接收機。



法規要求(7/14)-豁免管制

- 避雷針

- 銻(^{241}Am)

- α : 85% 5486 keV ;
 - γ : 36% 60 keV 。
 - 射程:HVL鉛<1mm 。
 - 豁免量: 10^4 Bq 。



法規要求(8/14)-豁免管制

- 燈泡

- 氬(^{85}Kr)

- β 核種(<1%的 γ)。
最大能量687 keV。
- 射程:玻璃中<1mm；
塑膠中<2mm。
- 豁免量: 10^4 Bq。



法規要求(9/14)-豁免管制



豁免規定...放射性物質

- 放射性物質之**活度**（**總活度**）不超過豁免管制標準者：
 - P-32(10^5 Bq)；Kr-85(10^4 Bq)；Co-60(10^5 Bq)；Ir-192(10^4 Bq)
- 列表約800多個核種。**請上網查!**
- <http://www.aec.gov.tw>



法規要求(10/14)-密封&非密封射源

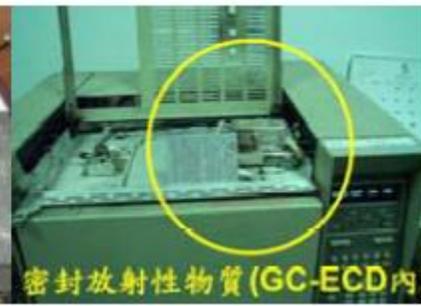
- **密封射源**：固態射源，用較堅固的保護層密封，僅利用其外洩的輻射。
 - 使用密封射源，須嚴守使用規定，絕對禁止在超出規定的條件下運作(如溫度、壓力、機械振動、磨損狀況等)，也須定期安全檢查，降低密封容器破損的機會。
 - 最簡單有效的體外輻射防護方法：距離。
- **非密封射源**：液態或氣態射源常不加密封而直接使用為示蹤劑。(短半衰期、低活度)
 - 非密封射源如使用不當，則有可能造成擴散和污染，因此常選擇使用短半衰期且低活度的核種。



非密封放射性物質



密封放射性物質



密封放射性物質(GC-ECD內)



法規要求(11/14)

- 「游離輻射防護法」第14條 **年齡** 
 - 從事或參與游離輻射作業之人員，以年滿**18歲**者為限，但基於教學或工作訓練需要，於符合特別限制情形下，得使16歲以上未滿18歲者參與輻射作業。任何人不得令**未滿16歲**者從事或參與輻射作業。
- 「游離輻射防護法」第31條 **操作資格**
 - 操作放射性物質或可發生游離輻射設備之人員，應受主管機關指定之訓練，並領有輻射安全證書或執照。但領有輻射相關執業執照經主管機關認可者或基於教學需要在合格人員指導下從事操作訓練者，不在此限。
(放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法 第3條)
 - 前項證書或執照，於操作一定活度以下之放射性物質或一定能量以下之可發生游離輻射設備者，得以訓練代之；其一定活度或一定能量之限值，由主管機關定之(放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法 第5條)。



法規要求(12/14)

- 「放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法」第3條
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。
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。



法規要求(13/14)

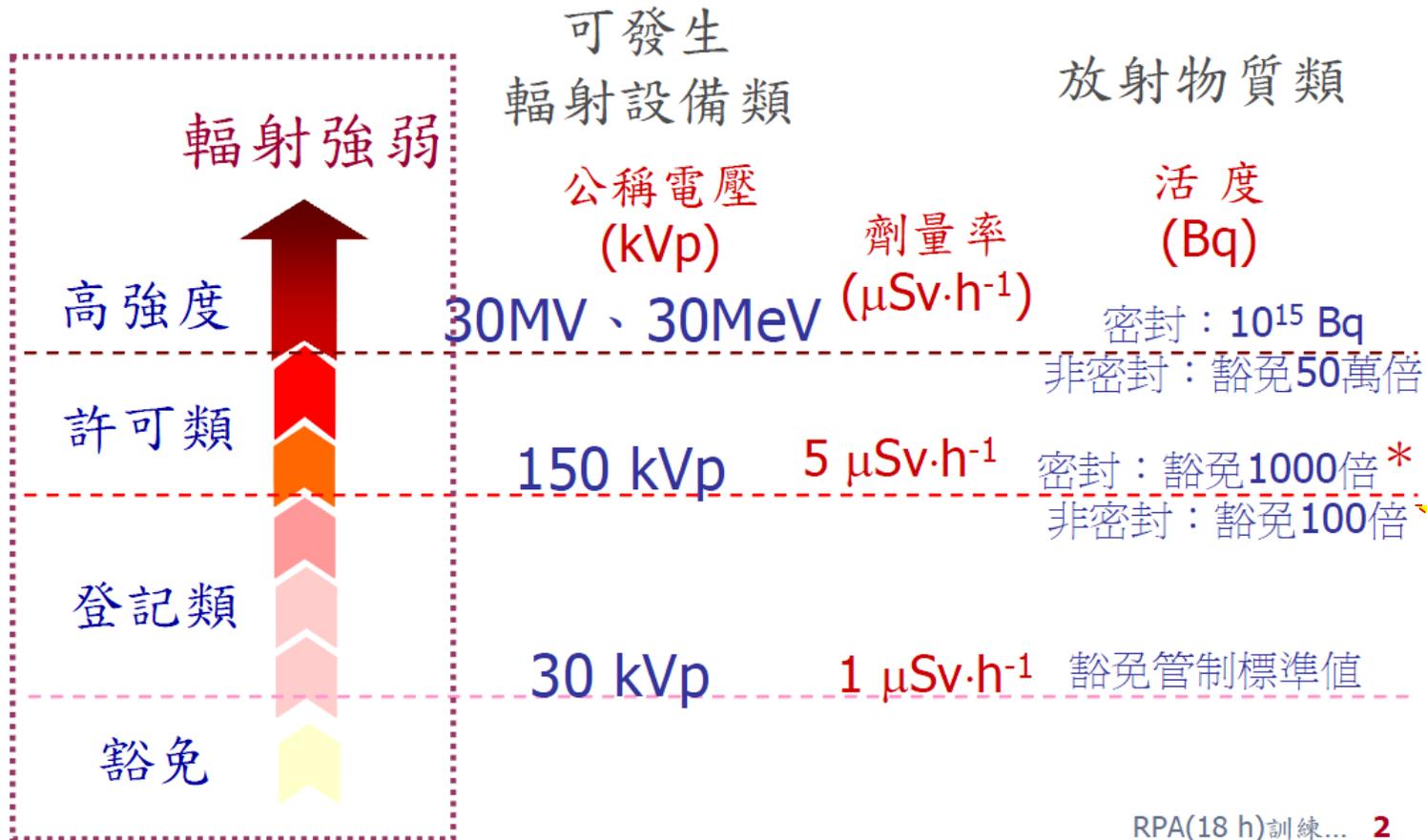
- 「放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法」第5條
本法第三十一條第二項規定之一定活度或一定能量之限值如下：
 - 一、第四類及第五類密封放射性物質。
 - 二、放射性物質在儀器或製品內或形成一組件，其活度為豁免管制量一千倍以下，且可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗。
 - 三、前二款以外之放射性物質活度為豁免管制量一百倍。
 - 四、可發生游離輻射設備其公稱電壓為十五萬伏或粒子能量為十五萬電子伏。
 - 五、櫃型或行李檢查 X 光機、離子佈植機、電子束焊機或靜電消除器，其可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗。
 - 六、其他經主管機關指定者。



法規要求(14/14)-輻射源分類



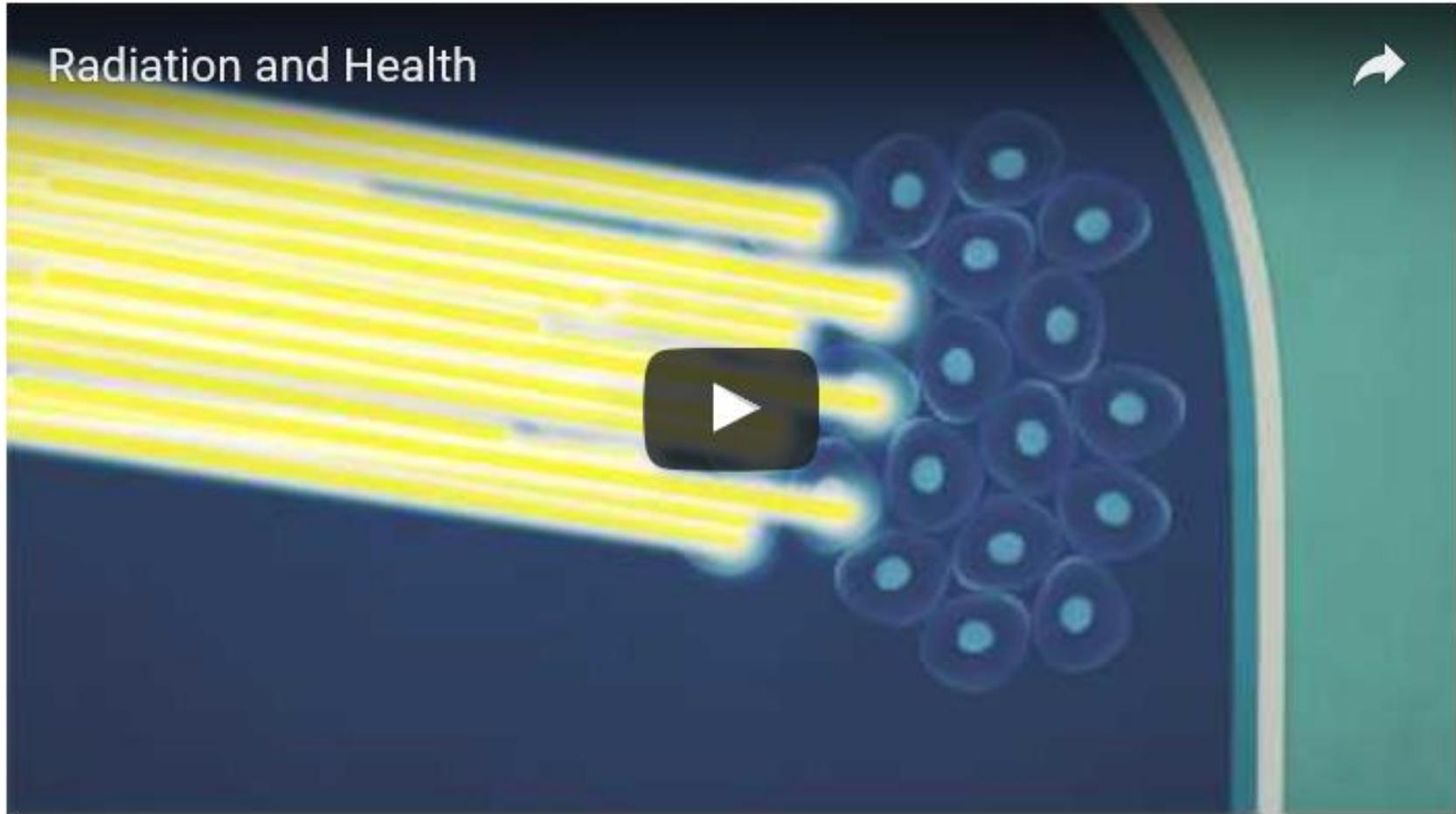
輻射源分類



RPA(18 h)訓練... 2



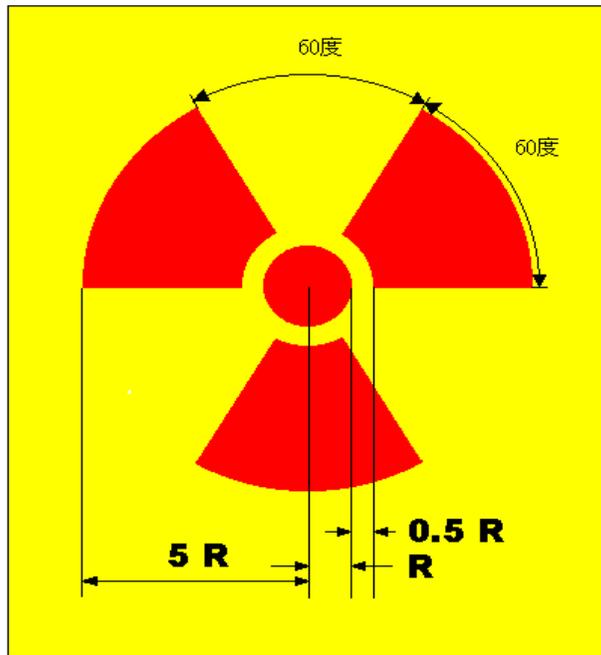
防護原則(1/9)



Radiation and Health (6:47)

防護原則(2/9)

- 輻射示警標誌
 - Magenta trefoil with yellow background (圖底為黃色、三葉形為紫紅色)



IAEA & ISO (2007)

為全世界共同使用的輻射示警標誌。輻射的場所，其外圍、大門、入口或會產生輻射的儀器設備表面張貼標誌，以提醒所有的人，要注意輻射的存在及注意自身的安全。



防護原則(3/9)

- 輻射警示標籤 Radioaction Warning Labels

注意事項（本標籤請張貼於設備明顯位置）

1. 本設備含有輻射源，其出口、轉讓、遷移、改裝、停用及報廢等輻射作業，均應取得原子能委員會許可，始得為之。



2. 本設備應由取得合格資格之人員進行操作。

違反上述情事者，將依『游離輻射防護法』予以處分。

防護原則(4/9)

- (一) 正當化
 - 引起輻射曝露之行為，務必**利大於弊**。
- (二) 最適化
 - 接受射源曝露之劑量、曝露人數及曝露之可能性，以社會與經濟因素考慮，務必盡可能降低輻射曝露至**合理可達之低限** (As Low As Reasonably Achievable, **ALARA**)
- (三) 劑量限制
 - 等價劑量
 - 有效劑量



防護原則(5/9)-合理抑低 (ALARA)

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

游離輻射防護安全標準第二條第十項(2005.12.30)



防護原則(6/9)-機率效應

- **機率效應**：是指**效應發生的機率**而非嚴重性，因此應以**機率**表示，是劑量的函數，且**無低限劑量**存在。
 - 例如**遺傳效應**是屬於**機率效應**，而**致癌的軀體效應**也是屬於**機率效應**，而且兩者均無低限劑量存在。
 - 換句話說，**只要受到輻射的照射**，就有發生**機率效應的可能性**存在。

Most
risk



Less

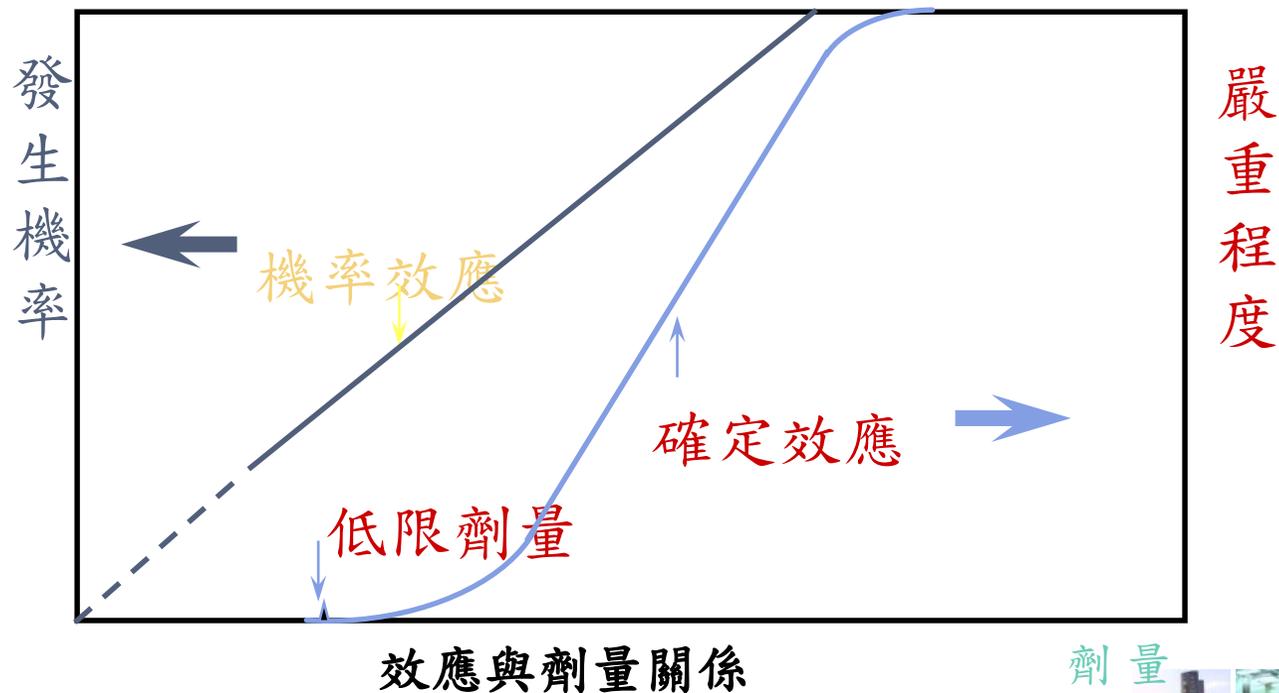


Least



防護原則(7/9)-確定效應

- **確定效應**：是指**效應發生的嚴重性**，而且**確定效應有低限劑量**存在。例如**皮膚的紅斑、脫毛、眼球的白內障**，以及**不孕**等都屬於**確定效應**。此種**效應的嚴重程度與輻射劑量的多寡成正比關係**。



防護原則(8/9)

- 目的：避免確定效應的發生，降低機率效應發生的機率。
- 有效劑量：針對機率效應。
- 等價劑量：針對確定效應。
- 劑量限制對象分類
 - 職業人員：分為孕婦與工作人員。
 - 一般人。
 - 醫療暴露：醫療用途的診斷與治療等。

游離輻射防護安全標準 第 6 條：輻射作業應防止確定效應之發生及抑低機率效應之發生率，且符合下列規定：

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



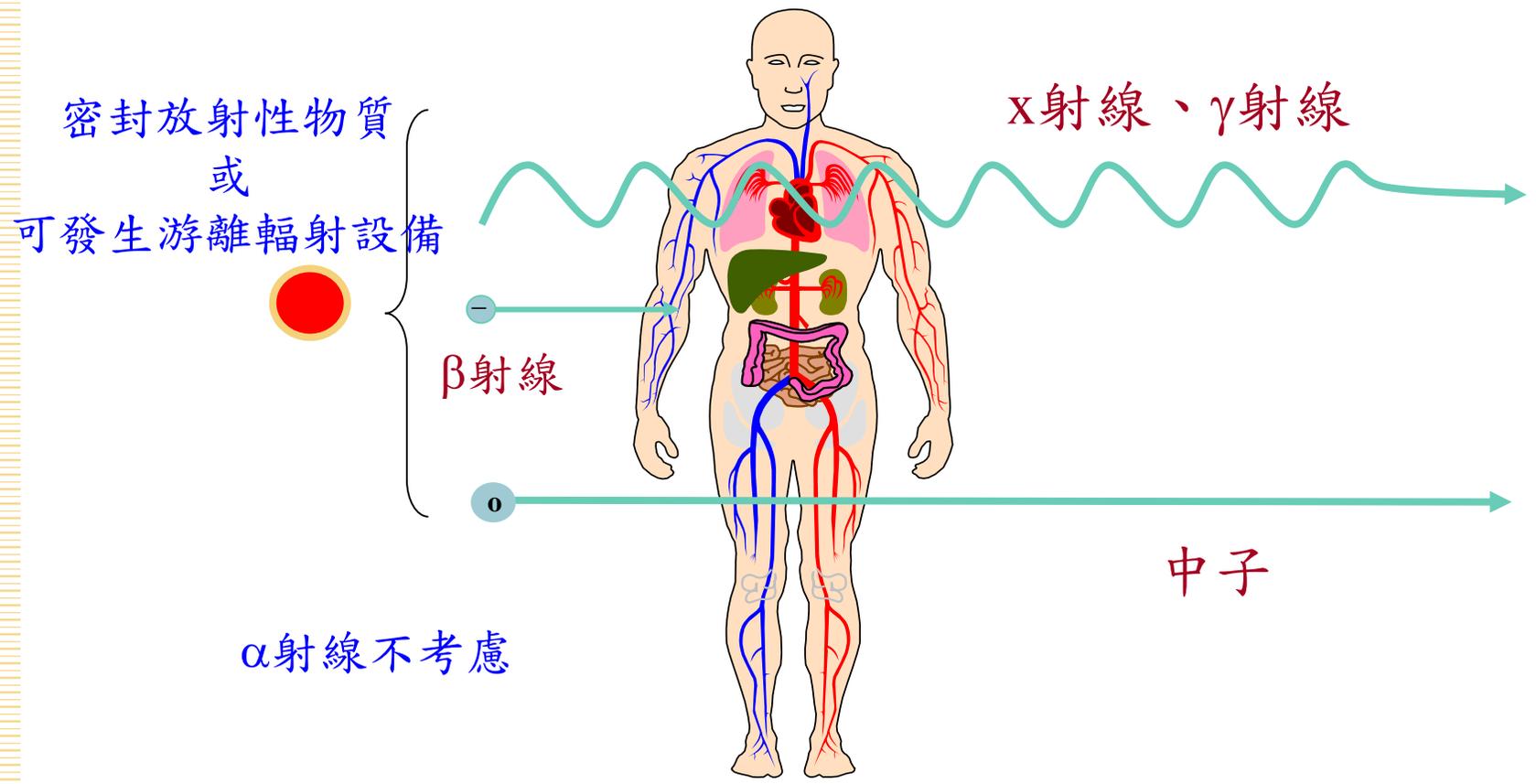
防護原則(9/9)



輻射到底有多毒? Ver.2-核能三部曲-三分鐘科學



體內&體外防護(1/7)-體外曝露





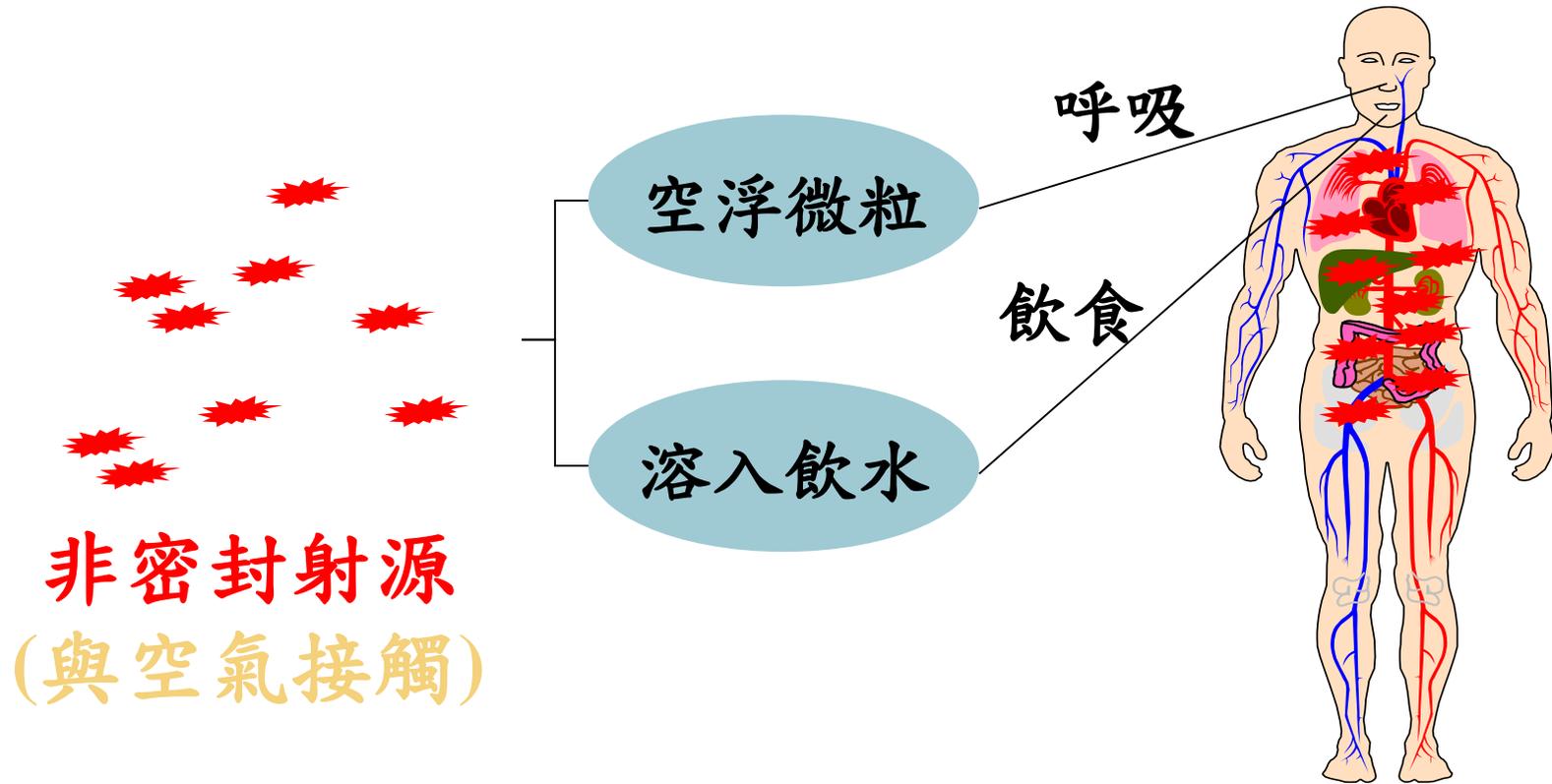
體外輻射防護的TSDD原則

- **時間(time)**：時間係指受曝露的時間儘可能縮短，任何涉及游離輻射的操作，事先要作充份的準備，必要時要作模擬操作，以減少受曝露的機會。
- **屏蔽(shield)**：屏蔽係指加屏蔽體， β 屏蔽可用鋁或壓克力， γ 屏蔽則用鉛。
- **距離(distance)**：劑量與距離的平方成反比，即距離輻射源越遠越安全。
- **蛻變(decay)**：如時間允許，可俟其輻射強度自然衰變減弱後再進行工作。

Half-life: A unique characteristic of a radionuclide, defined by the time during which an initial activity of a radionuclide is reduced to one half.



體內&體外防護(3/7)-體內曝露



非密封射源
(與空氣接觸)



體內&體外防護(4/7)-體內曝露輻射防護



- 放射性物質侵入體內的途徑

- 飲食
- 呼吸
- 皮膚吸收
- 傷口侵入

- 防護方法

- 避免食入
- 減少吸入
- 避免在污染區逗留
- 加強除污工作



體內&體外防護(5/7)-體內曝露輻射防

- **Mitigation of Internal Radiation Exposures**
 - Good **hygiene** techniques that **prohibit** the consumption of food and drink in the lab and the control of personal gestures that involve “hand-to-mouth” contacts.
 - Frequent **swipe** surveys and lab area monitoring of work areas, refrigerators, hoods, sinks, phones and computer keyboards, etc.
 - **Control contamination** with absorbent paper and spill trays, properly labeled waste containers, equipment, etc. and prompt decontamination of any detected contamination.



體內&體外防護(6/7)-體內曝露輻射防

- **Mitigation of Internal Radiation Exposures**
 - Use **fume hoods** for materials which could become airborne (e.g., vapors, dust, aerosols, etc.) and present an inhalation hazard to workers.
 - Use proper **protective equipment** (PPE) such as disposable gloves, safety glasses, lab coats, etc. to reduce the possibility of ingestion or absorption of radioactive materials.



體內&體外防護(7/7)-輻射場所

- **飲食**：輻射工作區內禁止飲食。
- **抽煙**：抽煙前應洗手偵檢，輻射工作區內不得吸煙。
- **洗手**：從事輻射工作後即應洗手並經偵檢，未洗手前不得直接使用電話或任意觸摸物品。
- **傷口**：皮膚有傷口時要特別注意放射性物質的侵入。



**NO FOOD
OR DRINK**



Health and Safety Essentials: Laboratory Best Practices



影片分享



<https://www.youtube.com/watch?v=TRL7o2kPqw0>

<https://www.youtube.com/watch?v=sAVooRjWqxM&list=WL&index=35>

XRD操作防護準則(1/20)

- Analytical x-ray devices are important tools in various areas of modern research. X-ray crystallography rely on X-radiation.
- But, X-ray diffraction equipment (XRD) can be very dangerous, and operators of this equipment must not become complacent or overconfident about the potential danger of the x-ray beam.
- When high energy electrons strike an anode in a sealed vacuum, x-rays are generated. Anodes are often made of copper, iron or molybdenum. **X-rays are electromagnetic radiation.** They have enough energy to cause ionization.
- 主要防護原則: 時間、距離、屏蔽(與體外暴露防護相同)



XRD操作防護準則(2/20)

- **Potential Hazards to be aware of...**
 - **Primary Beam**
 - The primary beam is the main hazard. Exposure to the primary beam can cause localized acute exposure. You must never place any part of their body in the primary beam. **Reddening of the skin** can occur when skin is acutely exposed to 300 R (much less than a second). **Burns** may occur from longer exposures.
 - **Scattered Radiation**
 - When the primary beam hits something such as a sample or the beam stop, some of the radiation is scattered. While these radiation fields are less intense than the primary beam, they are still hazardous. Scattered radiation fields can be measured with your survey meter.
 - **Leakage**
 - Some radiation may “leak” around the tube housing structure. The leakage radiation must not exceed that of radiation limits for the general public.



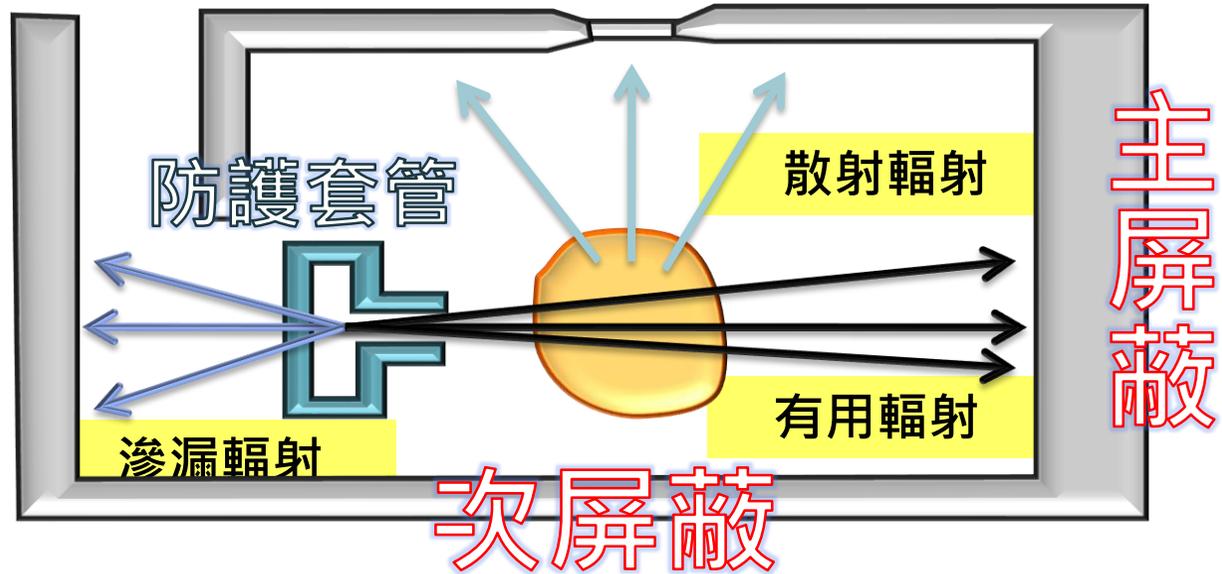
XRD操作防護準則(3/20)-輻射來源及結構屏蔽

- 主輻射(主屏蔽)
- 二次輻射(次屏蔽)
 - 散射輻射

- 0.1-0.15% @ 1m from patient and 20 cm x 20 cm field

- 滲漏輻射

- X-ray以最大輸出連續運作時，距離X光管1m處限值為100 mR/hr



XRD操作防護準則(4/20)

- Overexposure to X-rays can result from either direct exposure to the primary beam or indirect exposure from leakage or scattering.
- The **major causes** of accidents with X-ray devices include improper training, improper system or device configuration (e.g., unused beam ports not covered), handling or adjusting of samples or other equipment when the machine is energized.



https://youtu.be/JON2eKC7hQQ?list=PLXYq45tuA2LjhvsKnFDSub88tK_n2o9M



https://youtu.be/KEcpBWOOkXP4?list=PLXYq45tuA2LjhvsKnFDSub88tK_n2o9M

XRD操作防護準則(5/20)

- **注意輻防措施和安全操作程序**
 - 注意鄰近工作人員和民眾之防護
 - 需有防護屏蔽設備
 - 遠距離操作
 - 劃定管制區域並以圍籬區分
 - 操作區域需設置明顯警報標誌
- **加強輻射防護訓練**
 - 加強輻防知識
 - 強化實作訓練



XRD操作防護準則(6/20)- X-ray屏蔽

X-Ray Apron
(made of lead)



X-Ray Lead Barriers



Lead Brick



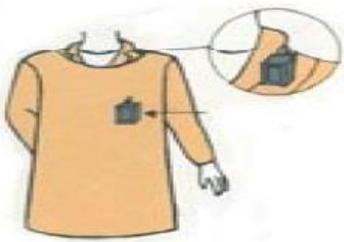
Lead Glass



Courtesy from: <http://blog.universalmedicalinc.com/determine-x-ray-apron-material-right/>
<http://www.raybar.com/xray-barriers>

XRD操作防護準則(7/20)-人員劑量偵測

- 體外曝露偵測
 - 全身(胸部)劑量佩章或電子式劑量筆
 - 手部(指環)劑量佩章
 - 著防護衣(鉛衣)時，應配戴在
 - ★ 鉛衣內靠身體部分
 - 鉛衣外(錯誤)



XRD操作防護準則(8/20)- X-ray屏蔽

Lead curtain



Lead barrier

XRD操作防護準則(9/20)- X-ray屏蔽

- X-Ray machine shielded by lead glass



XRD操作防護準則(10/20)- Warning signs





XRD操作防護準則(11/20)- X-ray屏蔽

- **Put the sample and run away!** (If possible)
- Safety tips to prevent overexposure
 - Know location of primary and diffracted beams at all times
 - Do not put body parts into beam path
 - Inspect shielding
 - No maintenance work when beam is energized
 - Monthly safety checks
 - Survey unit when moved or beam realigned





XRD操作防護準則(12/20)-操作資格

- 本校輻射防護規定

- 放射性物質、設備及輻射作業管理

- 本校區目前持有之輻射源包含可發生游離輻射設備(X光機、X光繞射儀)、密封放射性物質(Kr-85、Ni-63)，輻射源之請購、轉讓接收、設備安裝、變更位置、停用、永久停止使用、異動射源活度、及更換射源(x光燈管)前等運作行為，均應向環安中心提出申請(實驗室環安管理系統：<https://lms.nctu.edu.tw/>)，並經原能會核准後方可為之。

- 輻射劑量監測

- 環安中心每半年執行各輻射設備及放射性物質之劑量偵測作業，以維護使用人員及作業環境之安全。
- 新購買之輻射設備或放射性物質需進行輻射安全檢測或擦拭測試作業，以確保輻射源之安全性。
- 各輻射設備或放射性物質每5年需執行輻射安全測試作業。
- 密封放射性物質每年執行1次擦拭測試作業(氣態類免測)。
- 輻射設備如有異動(更換燈管、調整能量、設備重新組裝等)，需進行輻射安全測試，以確保設備使用時無洩漏之虞。



XRD操作防護準則(13/20)-操作資格

- 本校輻射防護規定

- 輻射作業人員

- 本校區設有輻射防護人員1名(單位：環安中心)，負責全校區各項輻射防護作業。
- 各輻射設備或放射性物質備有訓練合格之操作人員(18或36小時)，負責因教學研究所需使用射源人員之指導、監督及管理。
- 因教學研究所需使用射源之人員，需接受3小時教育訓練及輻射工作人員評估認定，並在合格操作人員直接監督下，始可從事操作。

- 放射性物質與可發生游離輻射設備之操作人員

- 許可類：需有輻射安全證書、輻射防護師、輻射防護員或放射師證書
- 登記備查：需有18小時以上之輻射訓練結業證書、輻射安全證書、輻射防護師、輻射防護員或放射師證書
- 學生需在合格人員(受主管機關指定之訓練機構，並領有輻射安全證書或執照者)直接監督下，以上操作人員需經環安中心及設施所屬單位認可後，始可從事操作。



XRD操作防護準則(14/20)-法規要求

- 「游離輻射防護法」第2條
 - **輻射工作人員**：指受僱或自僱經常從事輻射作業，並認知會接受曝露之人員。
- 合法之輻射工作人員應有之義務：
 - **定期教育訓練**（「游離輻射防護法」第14條 & 「游離輻射防護法施行細則」第5條）
 - **配戴劑量計**（「游離輻射防護法」第15條）
 - **定期體檢**（「游離輻射防護法」第16條）



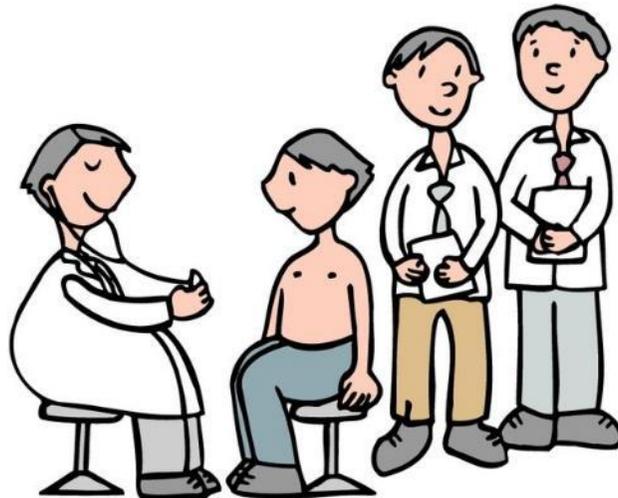
XRD操作防護準則(15/20)-法規要求

- 「游離輻射防護法」 第14條
 - 雇主對在職之輻射工作人員應定期實施從事輻射作業之防護及預防輻射意外事故所必要之**教育訓練**，並保存紀錄。輻射工作人員對於前項教育訓練，有接受之義務。
- 「游離輻射防護法施行細則」 第5條
 - 雇主依本法第十四條第四項規定對在職之輻射工作人員定期實施之**教育訓練**，應參酌下列科目(條列略)規劃，且每人每年受訓時數須為**三小時以上**，其中二分之一訓練時數得以播放錄影帶、光碟或視訊等方式代之，並保存紀錄。
 - 前項訓練之授課人員，應由輻射防護人員，或於教育部認可之國內、外大專校院相關科系畢業，且在公、私立機構、學校、研究單位從事輻射防護實務工作五年以上之人員擔任。
 - 依第一項規定所為之紀錄，應記載參加訓練人員之姓名與參加訓練之時間、地點、時數、訓練科目、授課人員及授課方式等相關資料，並至少保存十年。



XRD操作防護準則(16/20)-法規要求

- 「游離輻射防護法」 第15條
 - 為確保輻射工作人員所受職業曝露不超過劑量限度並合理抑低，雇主應對輻射工作人員實施**個別劑量監測**。但經評估輻射作業對輻射工作人員一年之曝露不可能超過劑量限度之一定比例者，得以作業環境監測或個別劑量抽樣監測代之。
- 「游離輻射防護法」 第16條
 - 雇主僱用輻射工作人員時，應要求其實施**體格檢查**；對在職之輻射工作人員應實施**定期健康檢查**，並依檢查結果為適當之處理。



XRD操作防護準則(17/20)-法規要求

- 「游離輻射防護安全標準」 第7條 輻射工作人員職業曝露
- 「游離輻射防護安全標準」 第10條 16歲以上未滿18歲者
- 「游離輻射防護安全標準」 第12條 一般人

劑量限值	輻射工作人員 	一般人	16歲以上未滿18歲者接受輻射作業教學或工作訓練
有效劑量	< 100 mSv (連續五年週期) < 50 mSv (單一年)	< 1 mSv/year	< 6 mSv/year
等價劑量 (眼球水晶體)	< 150 mSv/year	< 15 mSv/year	< 50 mSv/year
等價劑量 (皮膚或四肢)	< 500 mSv/year	< 50 mSv/year	< 150 mSv/year



XRD操作防護準則(18/20)-法規要求

- 「游離輻射防護安全標準」(2005.12.30)
 - 第七條
 - 輻射工作人員職業曝露之劑量限度，依下列之規定：
 - 一、每連續五年週期之有效等效劑量不得超過一百毫西弗。且任何單一年內之有效等效劑量不得超過五十毫西弗。
 - 二、眼球水晶體之等效劑量於一年內不得超過一百五十毫西弗。
 - 三、皮膚或四肢之等效劑量於一年內不得超過五百毫西弗。
 - 第十條
 - 十六歲以上未滿十八歲者接受輻射作業教學或工作訓練，其個人年劑量限度依下列規定：
 - 一、有效劑量不得超過六毫西弗。
 - 二、眼球水晶體之等價劑量不得超過五十毫西弗。
 - 三、皮膚或四肢之等價劑量不得超過一百五十毫西弗。
 - 第十二條
 - 輻射作業造成一般人之年劑量限度，依下列規定：
 - 一、有效劑量不得超過一毫西弗。
 - 二、眼球水晶體之等價劑量不得超過十五毫西弗。
 - 三、皮膚之等價劑量不得超過五十毫西弗。



XRD操作防護準則(19/20)-法規要求

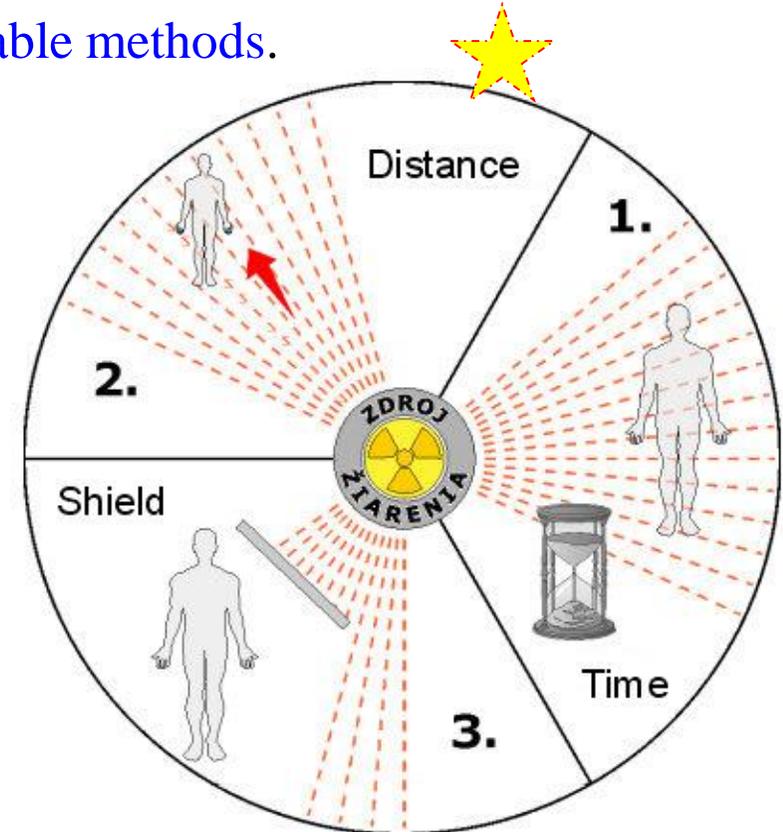
孕婦

- 「游離輻射防護法」第14條
 - 雇主對告知懷孕之女性輻射工作人員，應即檢討其工作條件，以確保妊娠期間胚胎或胎兒所受之曝露不超過游離輻射防護安全標準之規定；其有超過之虞者，雇主應改善其工作條件或對其工作為適當之調整。
- 「游離輻射防護安全標準」第11條
 - 雇主於接獲女性輻射工作人員告知懷孕後，應即檢討其工作條件，使其胚胎或胎兒接受與一般人相同之輻射防護。
 - 前項女性輻射工作人員，其賸餘妊娠期間下腹部表面之等價劑量，不得超過二毫西弗，且攝入體內放射性核種造成之約定有效劑量不得超過一毫西弗。



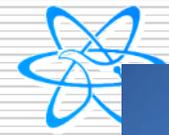
XRD操作防護準則(20/20)

- **ALARA (As Low As Reasonably Achievable) 合理抑低**
 - radiation safety principle for **minimizing** radiation doses and releases of radioactive materials by employing all **reasonable methods**.
- Regulators recognize that it is an **individual worker's responsibility** to perform tasks on a daily basis keeping best practices in mind, and striving to keep radiation exposure **as low as possible**.
- Workers are responsible for knowing **all hazards and safety practices** that relate to the equipment in use.
- Only trained, authorized persons may use, install, maintain, or repair XRD.
- All such persons must have Radiation Safety Training, and should receive radiation dosimetry device.



結 語

- 輻射是我們生活環境中的一部份，亦是自然界給予我們的一種資源。
- 水能載舟亦能覆舟，善用輻射可以造福人類，不當的使用輻射將會是殘害人類的工具。
- 在廣泛應用核能科技造福民生的同時，透過完整輻射教育訓練，使從業人員重視輻射安全，進而使核能科技應用更完善。



Thanks for your attention!

Q&A



影片-輻射微電影



<https://www.youtube.com/watch?v=oAlELsiRSxE>

影片-核能三部曲



<https://www.youtube.com/watch?v=RrnyYPz9H1o>



<https://www.youtube.com/watch?v=QdkagKSGYqk>



影片-鐳女郎(Radium Girls)



<https://youtu.be/HMP8kJgf0Uk>



影片-惡魔核心(Demon Core)



<https://youtu.be/e-nVOBdsPwY>

