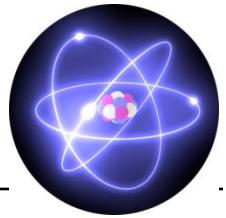


輻射與生活



講者：臺東大學科學教育中心主任 林自奮博士

內容大綱

- ✿ 原子科學發展簡史
- ✿ 認識輻射
- ✿ 生活中的輻射
- ✿ 輻射的偵測

原子科學家群像



侖琴(1845-1923)



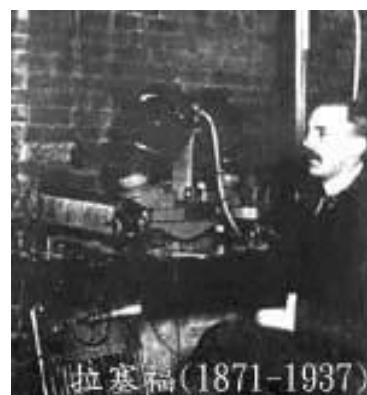
貝克勒爾(1852-1908)



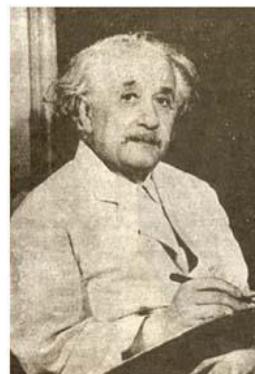
湯姆生約於1895年攝於
英國劍橋大學卡文的斯實驗室



居禮夫人(1867-1934)



拉塞福(1871-1937)



愛因斯坦先生玉照



查兑克先生玉照

原子科學發展簡史

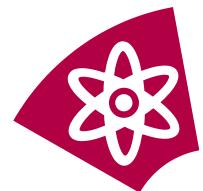
- * 1895 倫琴發現 X rays
- * 1896 貝克發現放射性
- * 1897 湯木生發現電子
- * 1898 居里夫婦首度分離出天然放射性元素釔和鐳
- * 1899 拉塞福發現阿伐(α)與貝他(β)粒子
- * 1900 韋拉特發現加馬(γ)射線
- * 1905 愛因斯坦發表相對論 $E=mc^2$
- * 1911 原子模型建立
- * 1932 查兌克發現中子 (原子核構造)
- * 1934 人工放射性物質
- * 1945 原子彈



居禮夫人(1867-1934)

輻射是什麼？

簡單的說輻射是一種**能量**



為什麼談「輻」色變

看不見、摸不到、聞不到

輻射的分類

游離輻射：能量高，能使物質產生游離作用

電磁輻射：加馬(γ)射線、X 射線

粒子輻射：阿伐、貝他、中子、質子



主管機關為行政院原子能委員會

非游離輻射：能量低，不能使物質產生游離作用

紫外線、可見光、紅外線、微波、雷達、

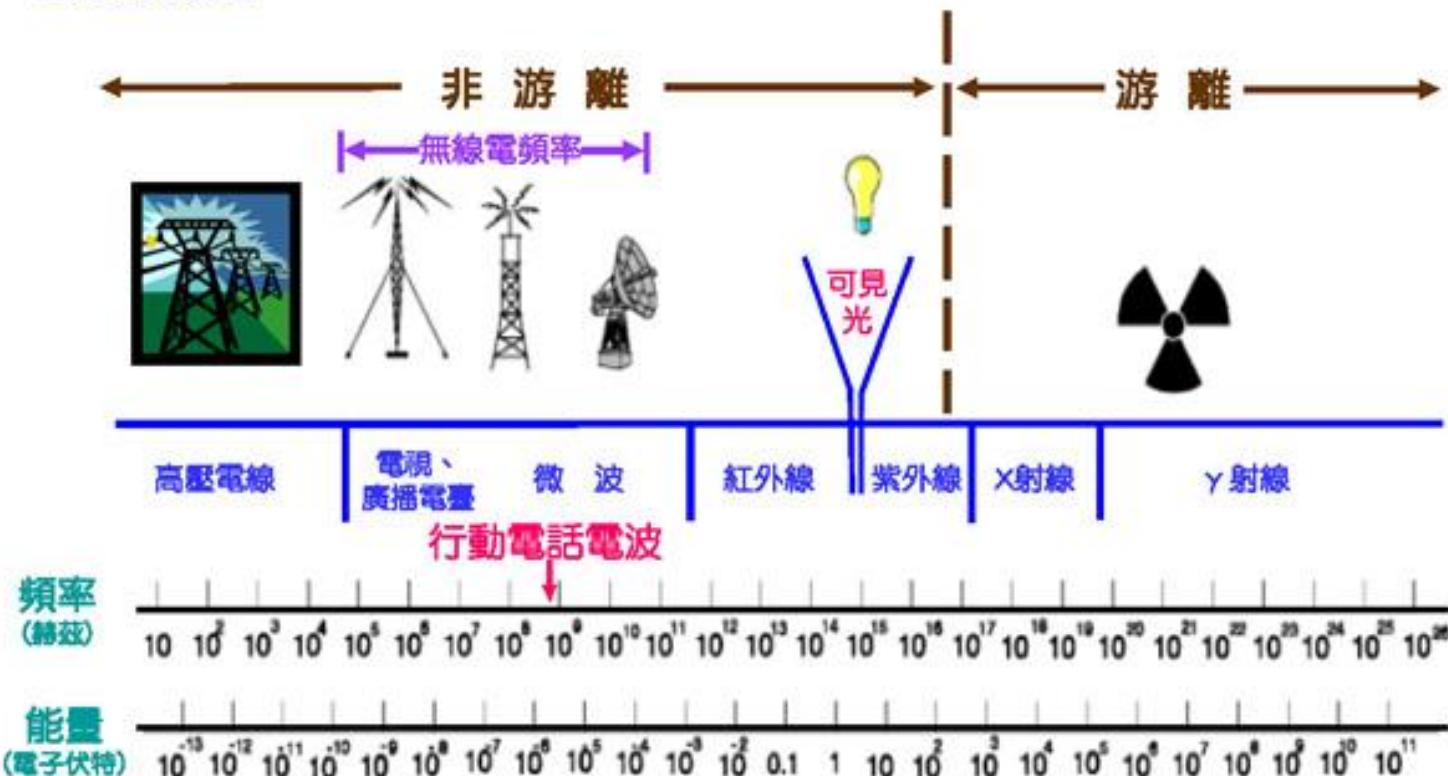
無線電波、短波、長波、長交流電波

主管機關為行政院環境保護署



電磁輻射頻譜圖

電磁頻譜

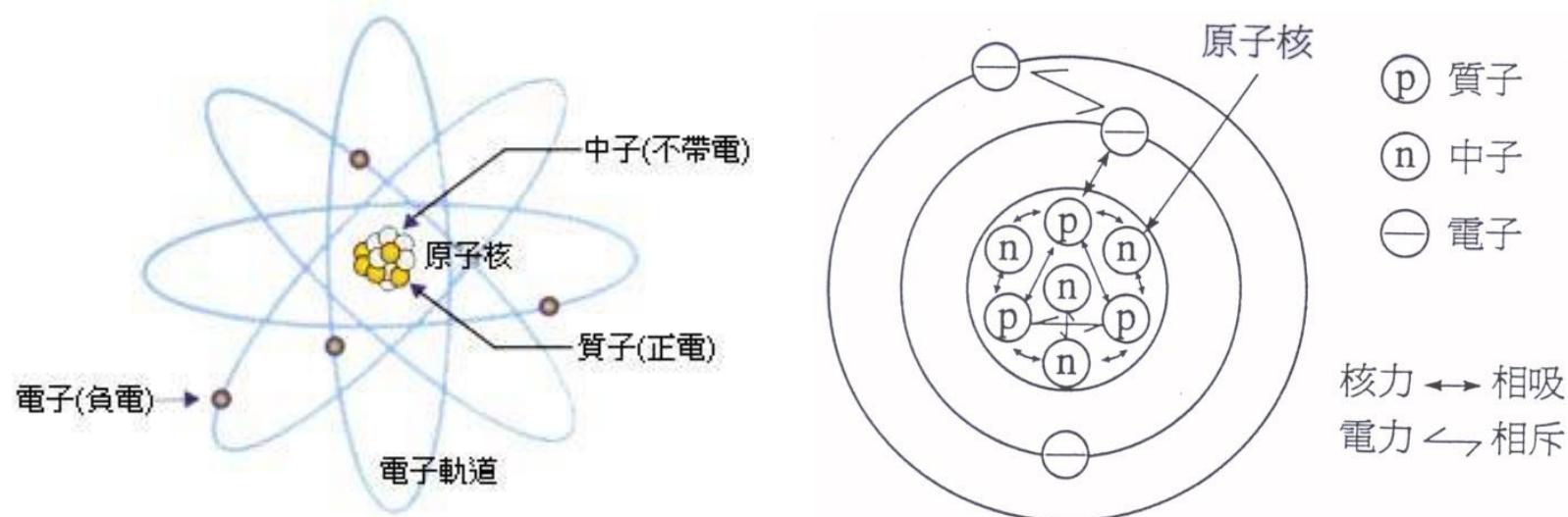


認識游離輻射

- ◆ 游離輻射的產生
- ◆ 游離輻射的特性
- ◆ 輻射劑量與健康效應
- ◆ 輻射防護



原子的構造



同位素：

質子的數目決定元素的名稱和它的性質。若某一元素含有不同的中子數目，則稱為該元素的同位素。

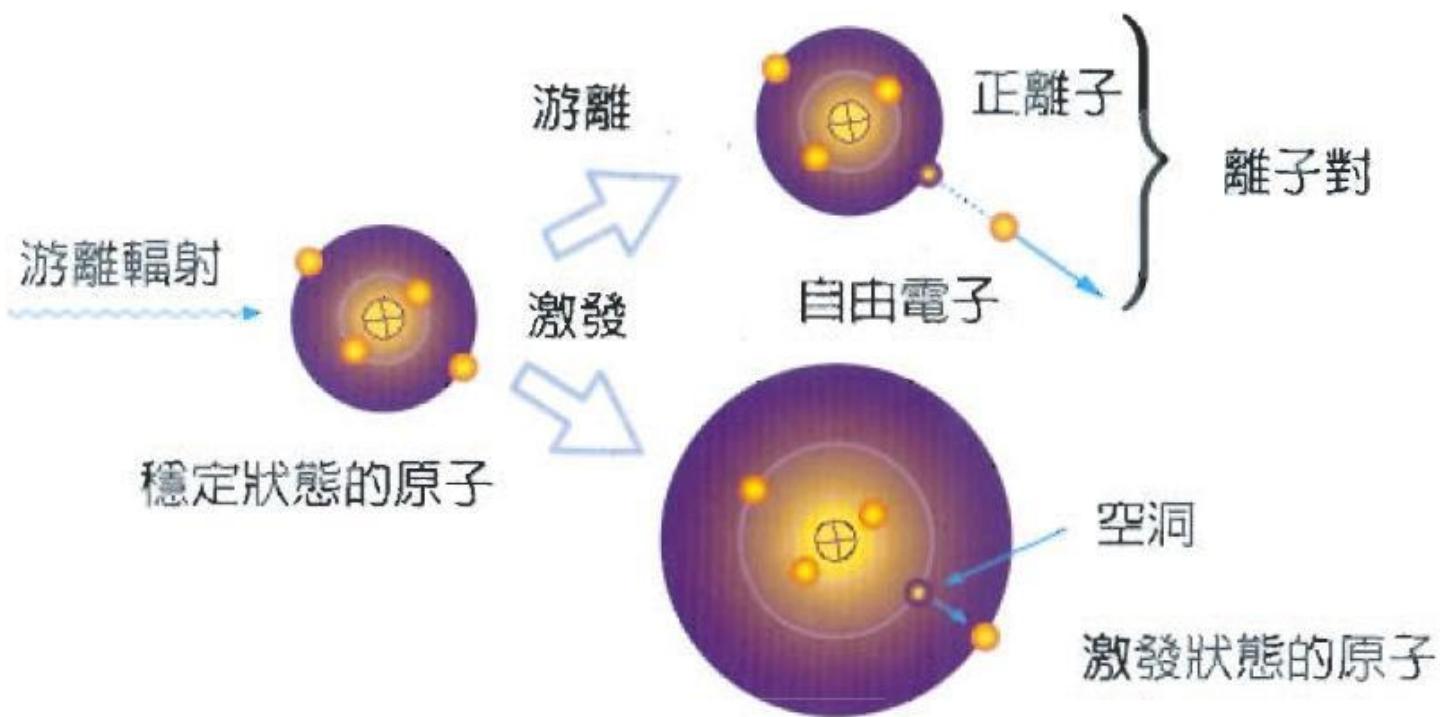
生活中常見的放射性同位素：

氚(${}^3\text{H}$)、碳14、鈷60、鉀40、鈾235、鈾238。

輻射與物質間的作用(1/2)

帶電粒子(如:阿伐粒子、貝他粒子、質子、電子等)

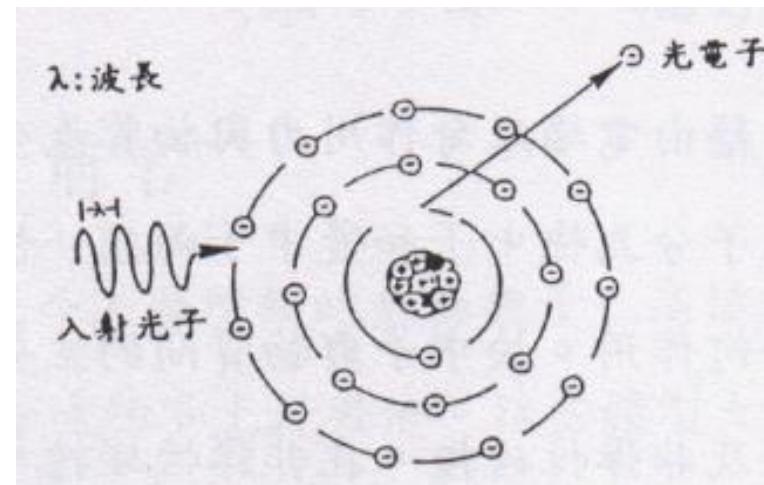
與物質作用會產生 **游離**、**激發** 來傳遞能量



輻射與物質間的作用(2/2)

不帶電游離輻射(如：加馬射線、X射線、中子)與物質作用時通常須先透過其他反應，生成帶電粒子，再藉由游離或激發傳遞能量

例：光電效應



游離輻射的產生

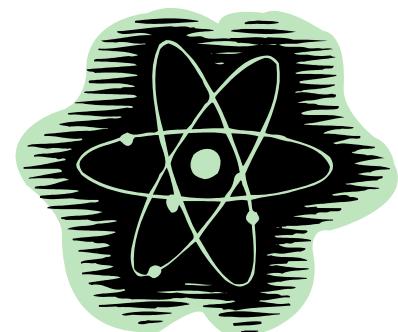
- * 來自放射性元素

α 射線、β 射線、γ 射線

- * 來自產生輻射的機具

如：X光機、加速器

- * 來自核反應

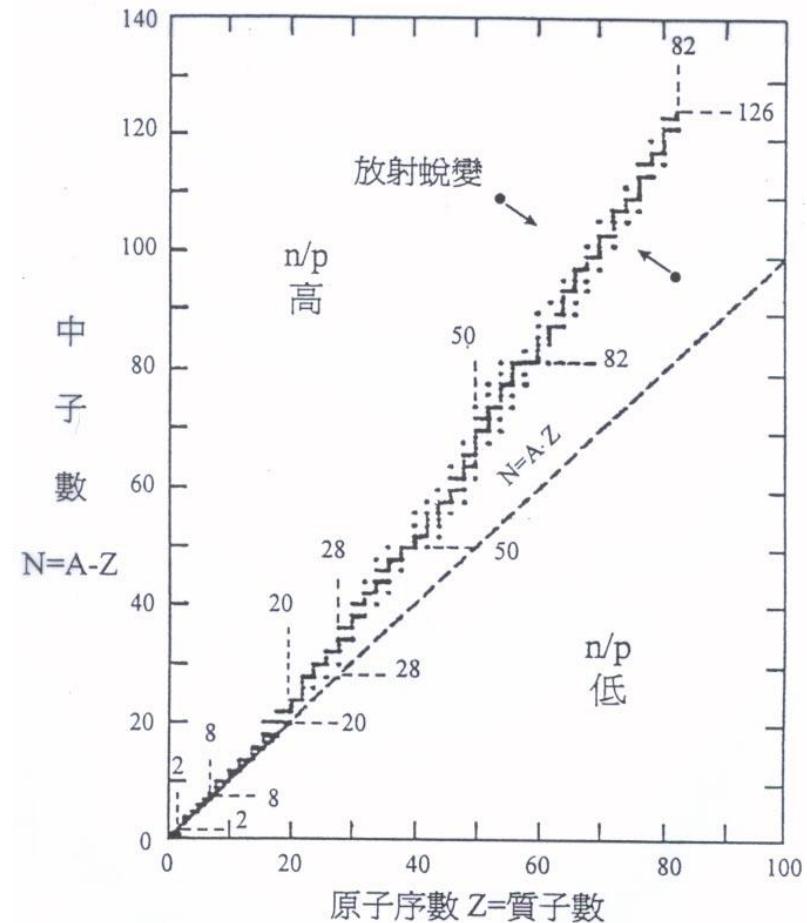


來自放射性同位素

阿伐 α - decay

貝他 β - decay

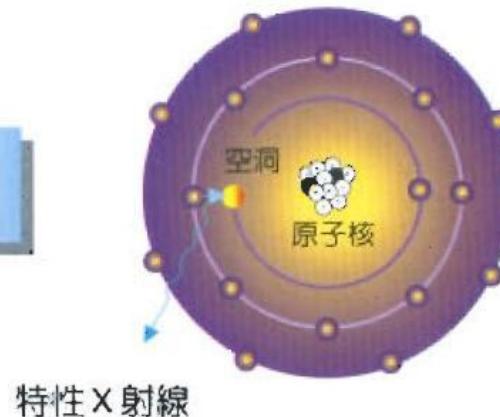
加馬 γ - decay



來自產生輻射的機具

- X光機：X-射線(制動輻射或特性輻射)

電子由高能軌道跳向低能軌道產生特性X射線



高速電子

連續X射線

原子核

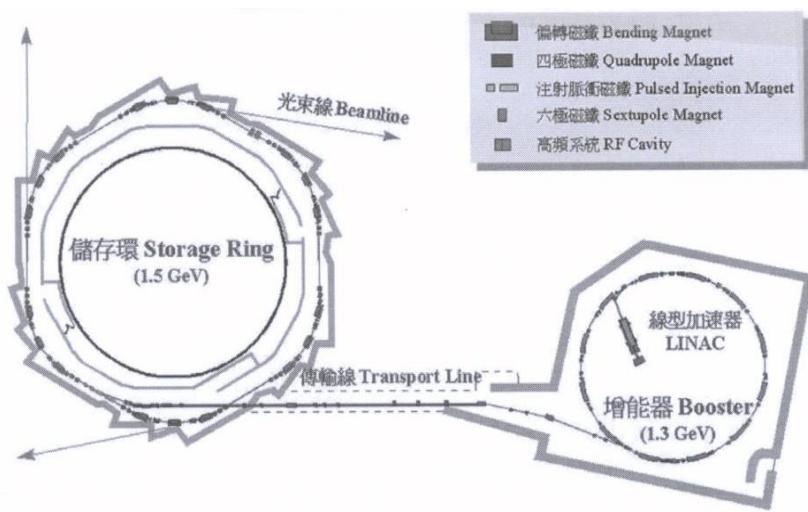
(制動輻射)

電子

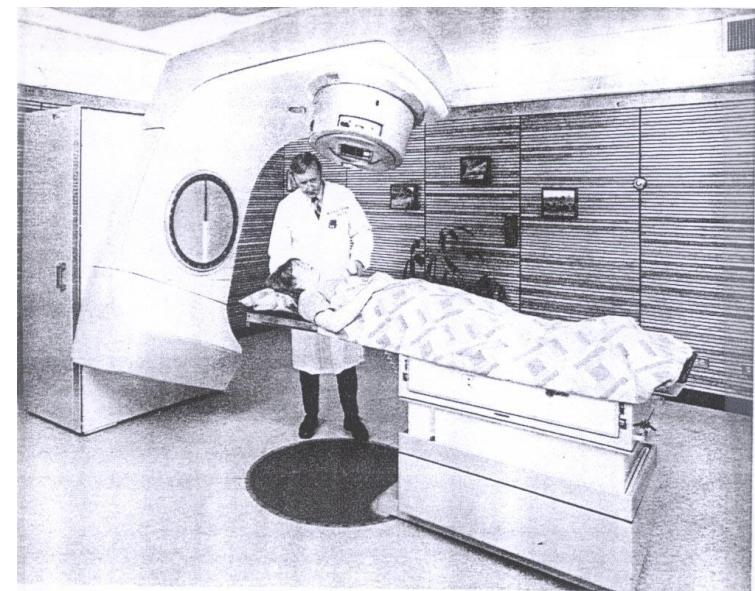
高速電子撞擊重原子核
產生連續X射線

來自產生輻射的機具

➤ 粒子加速器



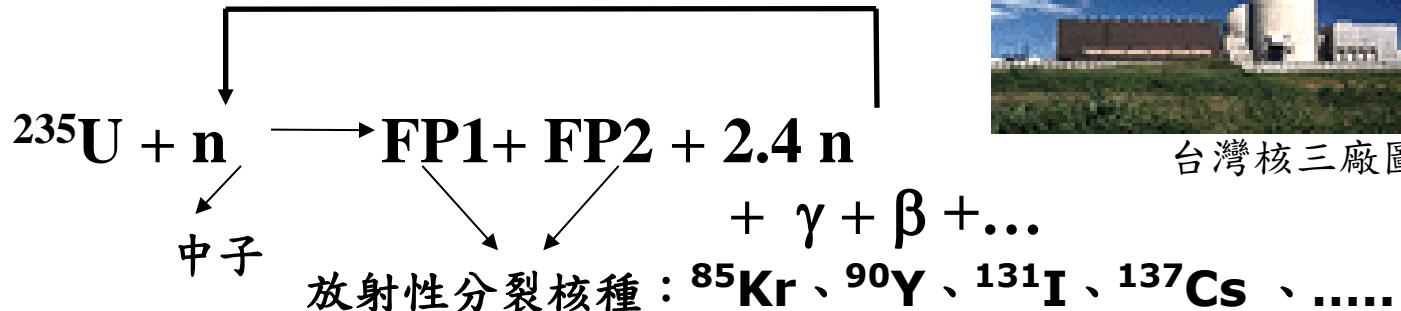
同步輻射



線性加速器

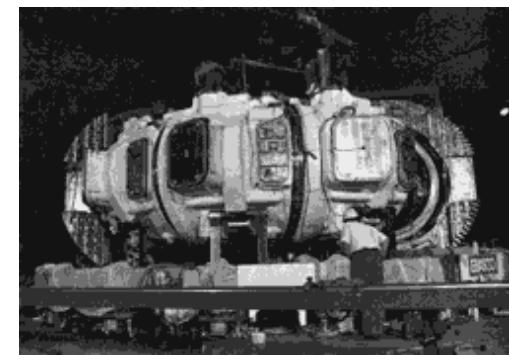
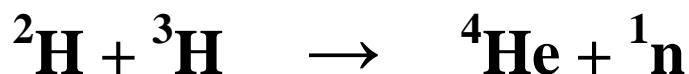
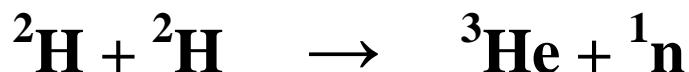
來自核反應

➤ 核分裂



台灣核三廠圖

➤ 核融合



美國普林斯頓大學的Tokamak
核融合測試反應器 16

游離輻射的特性

- ★ 放射性蛻變是自發性的反應
- ★ 輻射受電磁場影響
- ★ 輻射強度隨時間的增加而遞減
- ★ 不同的輻射有不同的穿透能力

輻射受電磁場影響

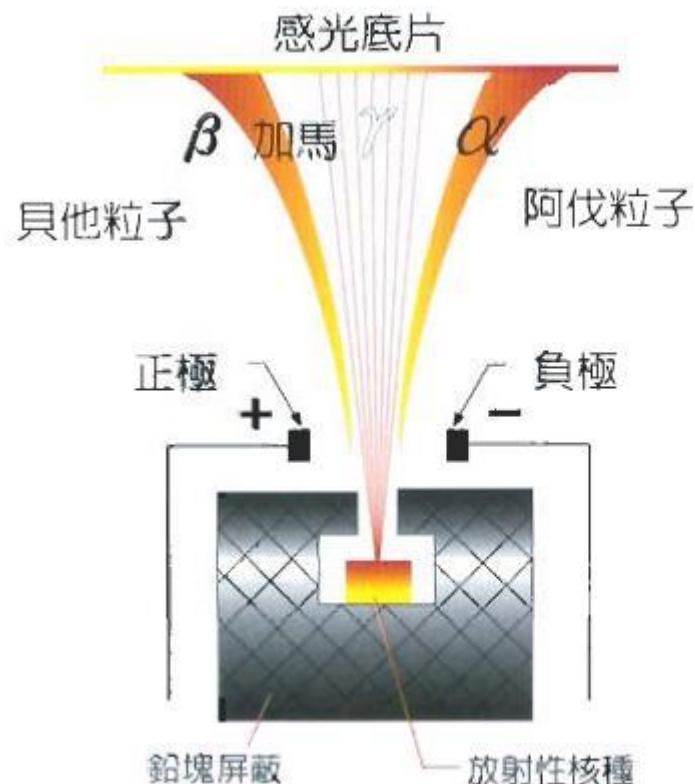
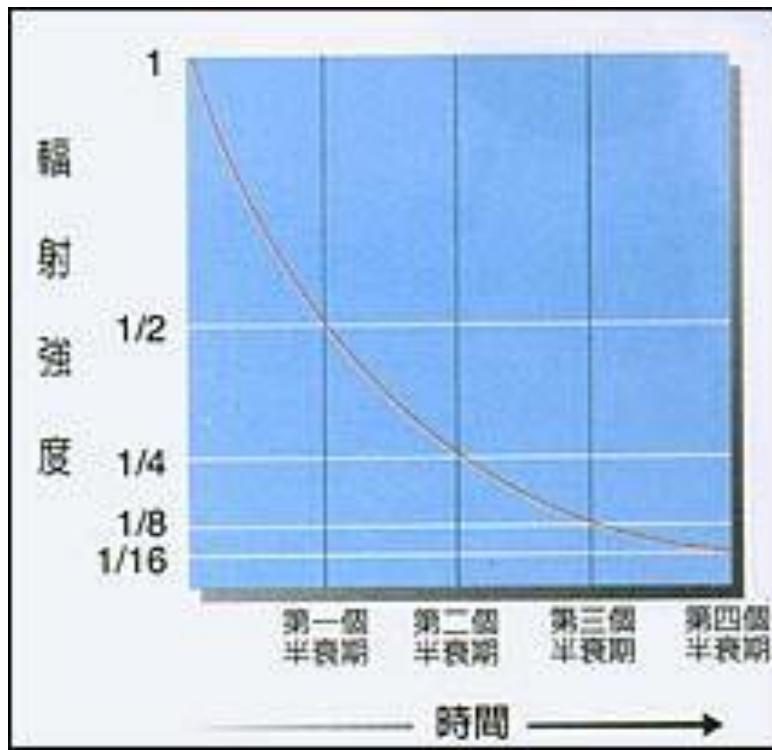


圖 1.6 輻射線受電場影響

輻射強度隨時間的增加而遞減



放射性同位素半衰期：

^{14}C : 5730 年

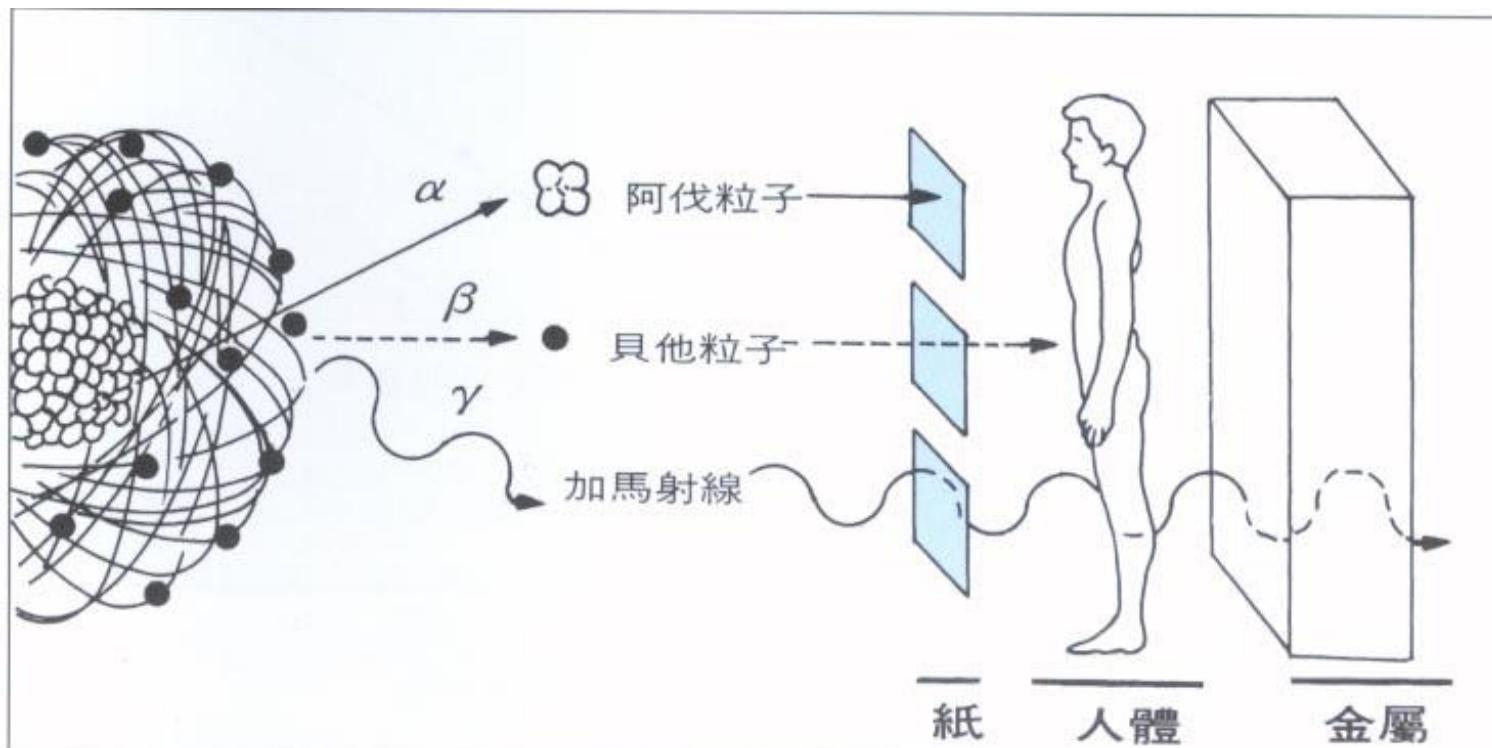
^{60}Co : 5.26 年

^{131}I : 8.02 天

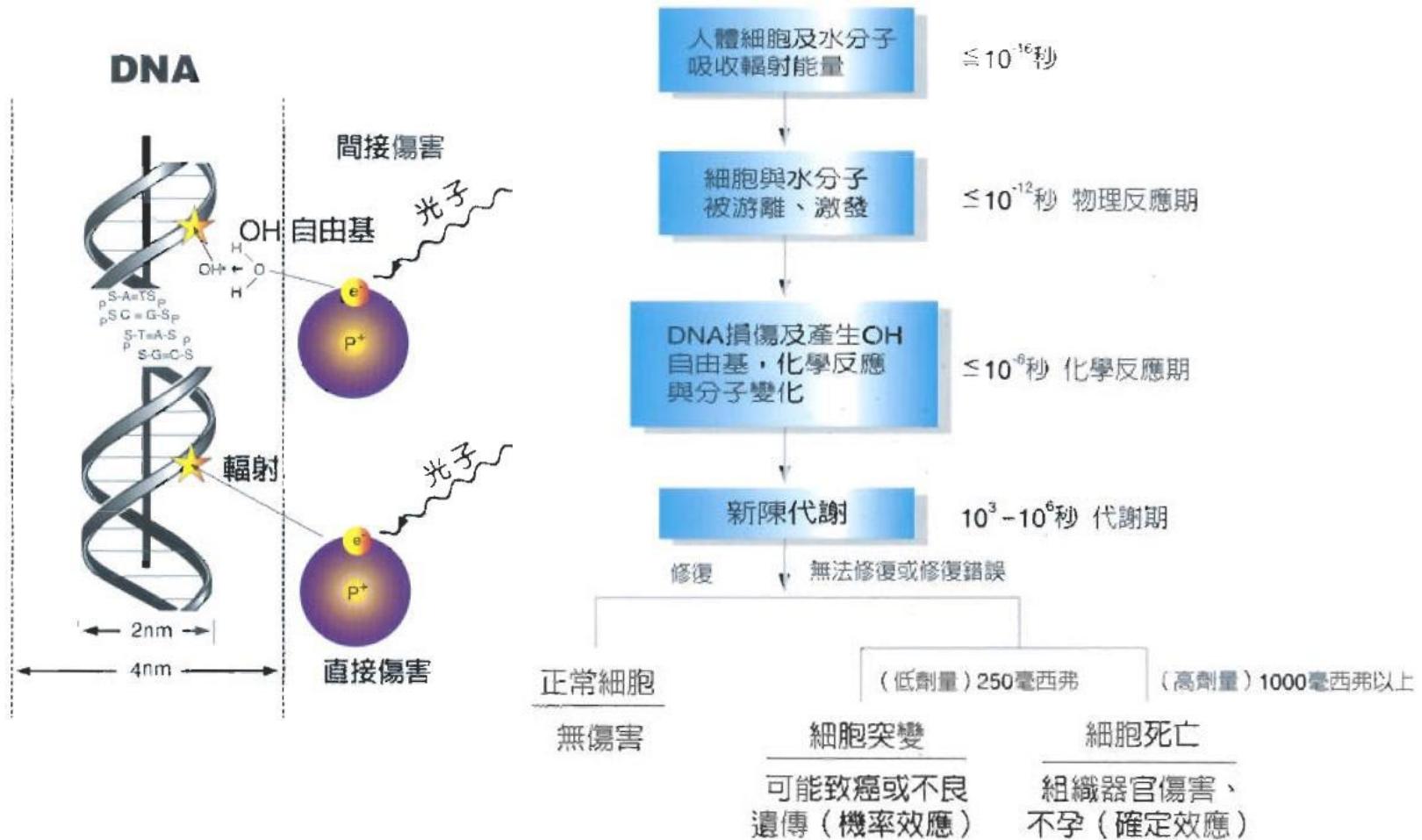
$^{99\text{m}}\text{Tc}$: 6.01 小時

半衰期 (Half Life): 輻射強度減弱為一半所需的時間

不同的輻射有不同的穿透能力



游離輻射傷害細胞的機制



游離輻射對生物體的傷害

效應類別	症 狀		效應類別
軀體效應	急性	皮膚發生紅斑 骨髓、肺、消化道傷害 白血球減少 噁心、嘔吐、腹瀉	確定性效應
	慢性	白內障、不孕症胎兒之影響等	
遺傳效應		白血病癌症	機率性效應
遺傳基因突變或染色體變異所發生的各種疾病			

輻射的單位



等效劑量：

用以表示游離輻射對人體組織的影響程度。

國際單位是西弗（Sv）。

活度：

用以表示放射性同位素在單位時間內衰變的次數，
活度愈大表示放射性愈強，國際單位是貝克（Bq）。

輻射單位換算

1西弗 = 1000毫西弗

1毫西弗 = 1000微西弗

輻射健康效應—急性輻射傷害

一次輻射劑量(毫西弗)

小於250

250~1000

1000~2000

2000~4000

4000~6000

6000以上

人體產生之效應

沒有顯著效應

淋巴球、白血球暫時減少

有疲倦、噁心、嘔吐現象，淋巴球及白血球顯著減少

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。

與前者相似，僅症狀顯示的較快，在2~6週內死亡率為50%。

若無適當醫護，死亡率為100%

輻射健康效應-長期低輻射傷害

- 確定性效應：

效應之發生與輻射劑量大小有關，**有低限值**

例：白內障（水晶體劑量 > 150 毫西弗/年）

不孕症（卵巢劑量 > 200 毫西弗/年）

- 機率性效應：

效應之發生無法事先預知，**無低限值**

包括：癌症（風險為 6%/西弗）

遺傳病變（風險為 1.3%/西弗）

輻射健康效應

- 人一生中自然癌症風險約為 25%。
- 一年中若每天吸菸 20 支，其致癌機率相當於 70-280 毫西弗的劑量。
- 全身年劑量若低於 50 毫西弗，基本上被認為是相當安全的。
- 流行病學調查顯示，接受低輻射劑量(約 250 毫西弗以下)者，並無任何臨床症狀，癌症的發生率也和一般人相同。

游離輻射防護原則

- 正當化

- 引起輻射曝露之行為，務必**利大於弊**

- 最適化

- 合理抑低 (**ALARA**)

- 劑量限制

- 防止確定性效應(非機率效應)的發生
 - 抑低機率效應的發生率

輻射劑量之法規限值

法規：游離輻射防護法、游離輻射防護法施行細則、
游離輻射防護安全標準(92.02.01開始施行)

年劑量限值

目的	組織器官	劑量限度(毫西弗/年)	
		輻射工作人員	一般民眾
抑低 機率性效應	全身	50 (連續五年之年 平均小於20)	1
防止確定性 效應發生	眼球水晶體	150	15
	個別組織 或器官	500	50

游離輻射體外暴露防護法則



體內曝露的輻射防護

○ 防護法則

避免攝入、減少吸收、
增加排泄、避免污染、
加強除污



生活中的輻射



生活中的游離輻射



生活中的非游離輻射

- 手機與基地台
- 家電產品
 - 微波爐、電視、吹風機、冰箱、電鬍刀、洗衣機、吸塵器、檯燈
- 變電所
- 紫外線(主要來自陽光)



生活中游離輻射的來源

1. 天然輻射

體外輻射：宇宙射線、地表及建物輻射

體內輻射：氡氣、人體內輻射(鉀-40)

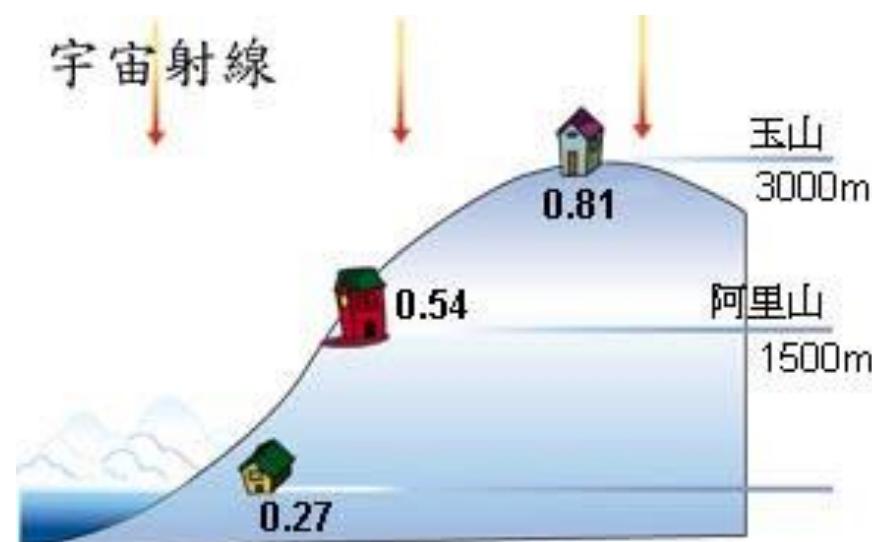
2. 人造輻射

醫療輻射、民生消費品、

核爆落塵、核能設施

天然輻射-宇宙射線

宇宙射線主要由83%的高能質子，16%的阿伐及其他高能粒子所組成，稱為一次宇宙射線。這些一次宇宙射線與大氣層中的空氣分子作用，產生包括中子，質子等的二次宇宙射線，它們穿透大氣層造成對人類的輻射。



平地與高山可能接受之宇宙射線劑量

天然輻射 - 宇宙射線

高空飛行可能接受之宇宙射線劑量

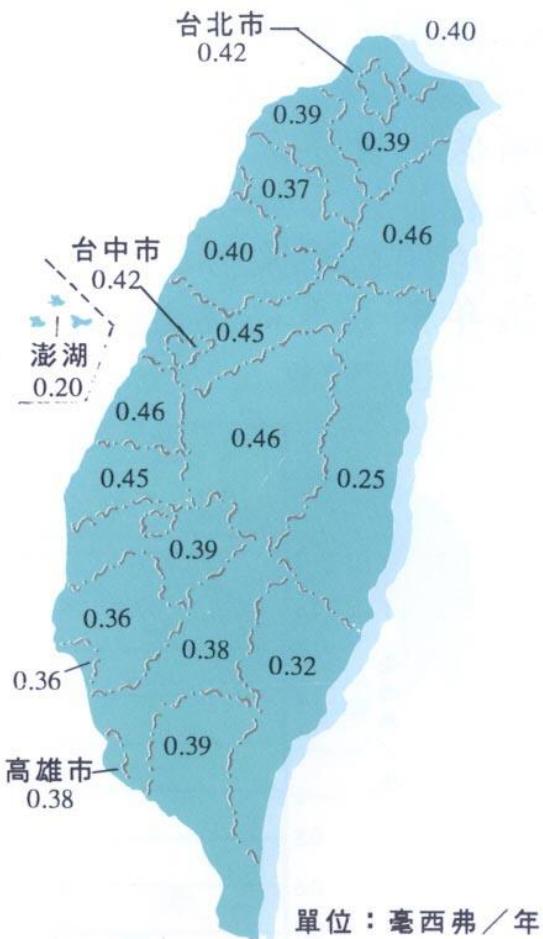


航線 (往返)	接受劑量 (微西弗)
台北 = 紐約	156
台北 = 阿姆斯特丹	99
台北 = 洛杉機	93
台北 = 約翰尼斯堡	72
台北 = 雪梨	48
台北 = 新加坡	15
台北 = 金門	0.67
台北 = 高雄	0.48
台北 = 台南	0.23
台北 = 蘭嶼	0.13
高雄 = 馬公	0.07

註：1000 微西弗 = 1 毫西弗

天然輻射-地表輻射

- 地表的土壤及岩石含有天然放射性核種。
- 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劑量。



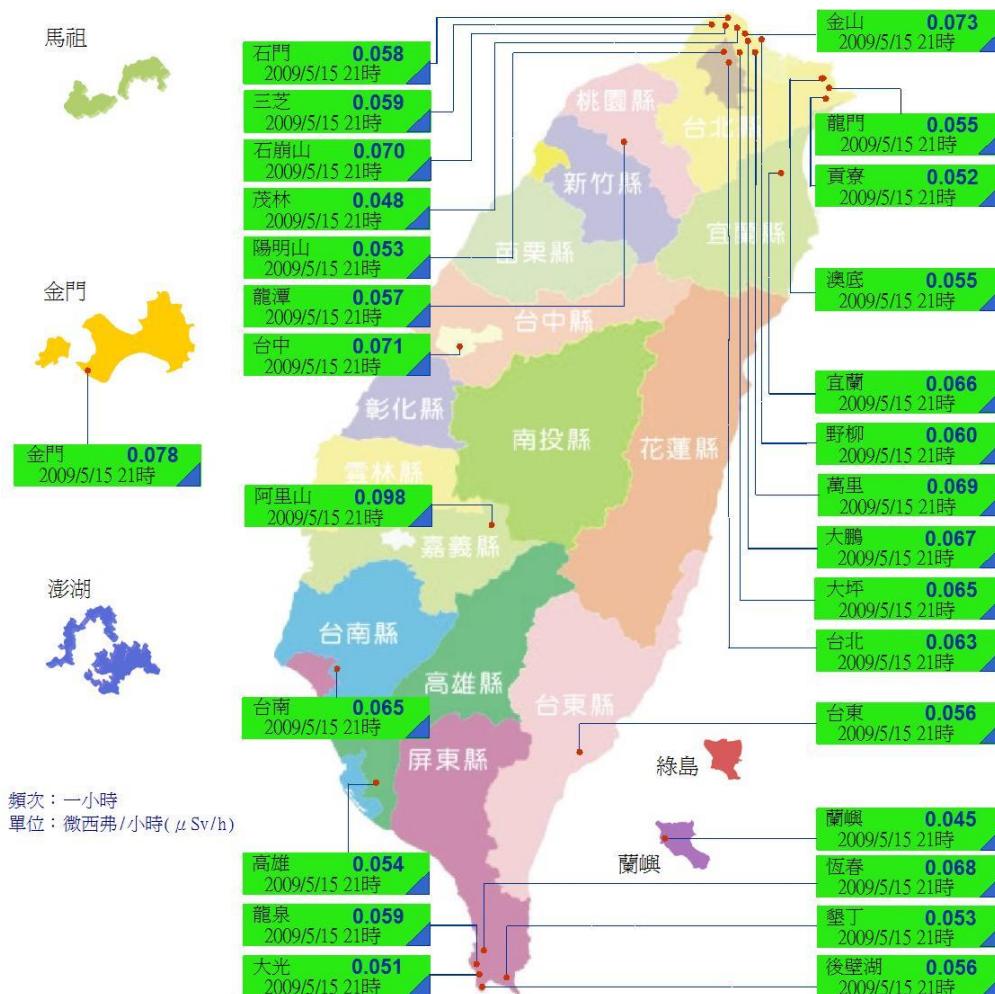
具放射性之北投石

- 北投石是一種溫泉沉澱結晶物，北投地熱谷冒出的泉水，酸性硫酸鹽及氯化物含量很高，當水溫、酸鹼值適當時，鋇離子和鉛離子就會結合，而沉澱在河床或兩岸的岩石表面上或縫隙間，形成一層一層細粒的礦物結晶。
- 全球唯一以台灣地名命名的礦石，僅在台灣和日本有發現。
- 由日本人岡本要八郎發現命名（1912），我國中研院前院長李遠哲博士之碩士論文(北投石的放射能研究，1961)即以北投石為研究對象。



北投石—北投溫泉博物館鎮館之寶。
(800公斤重，表面最高劑量約為1.29
微西弗/時)

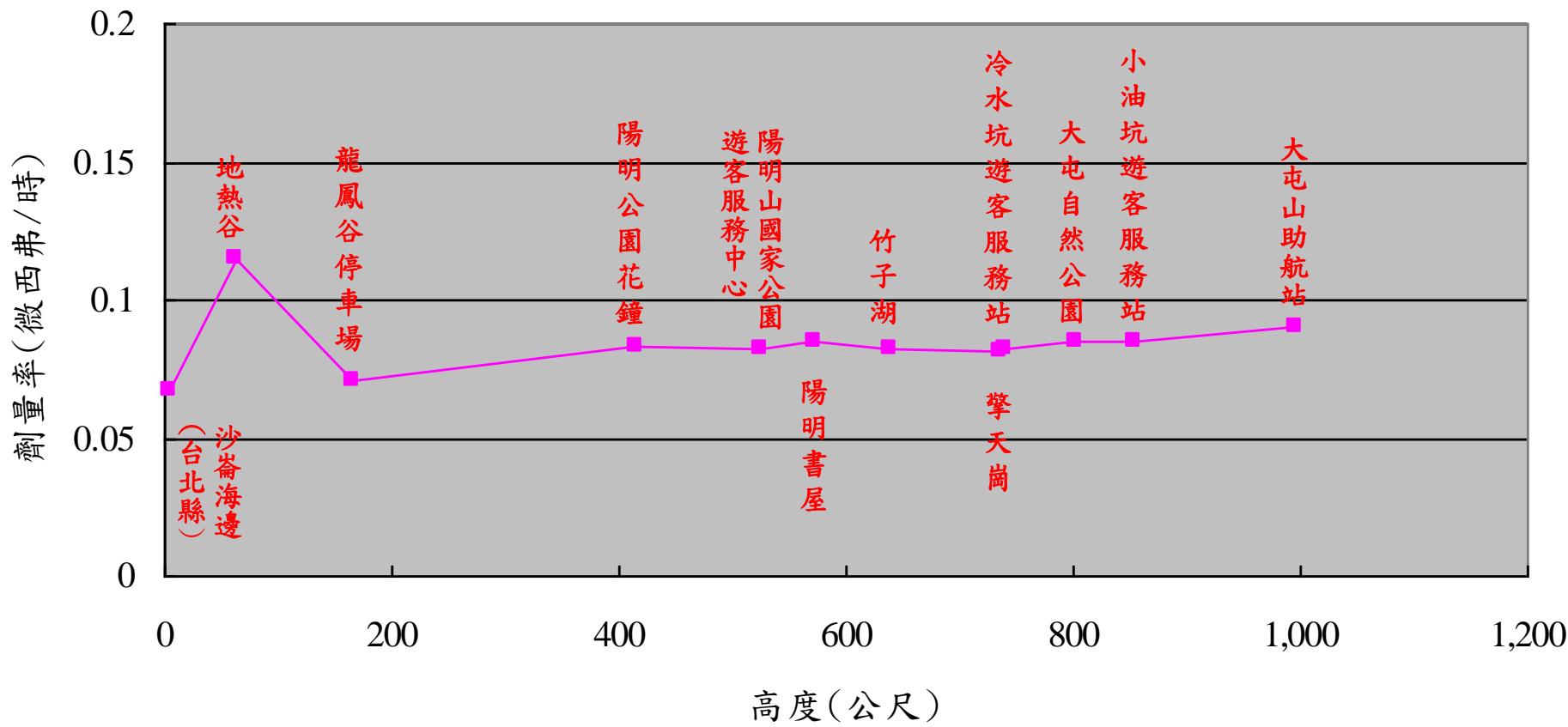
環境輻射即時監測 2009/5/15



資料來源：原子能委員會「環境輻射監測」2009/5/15

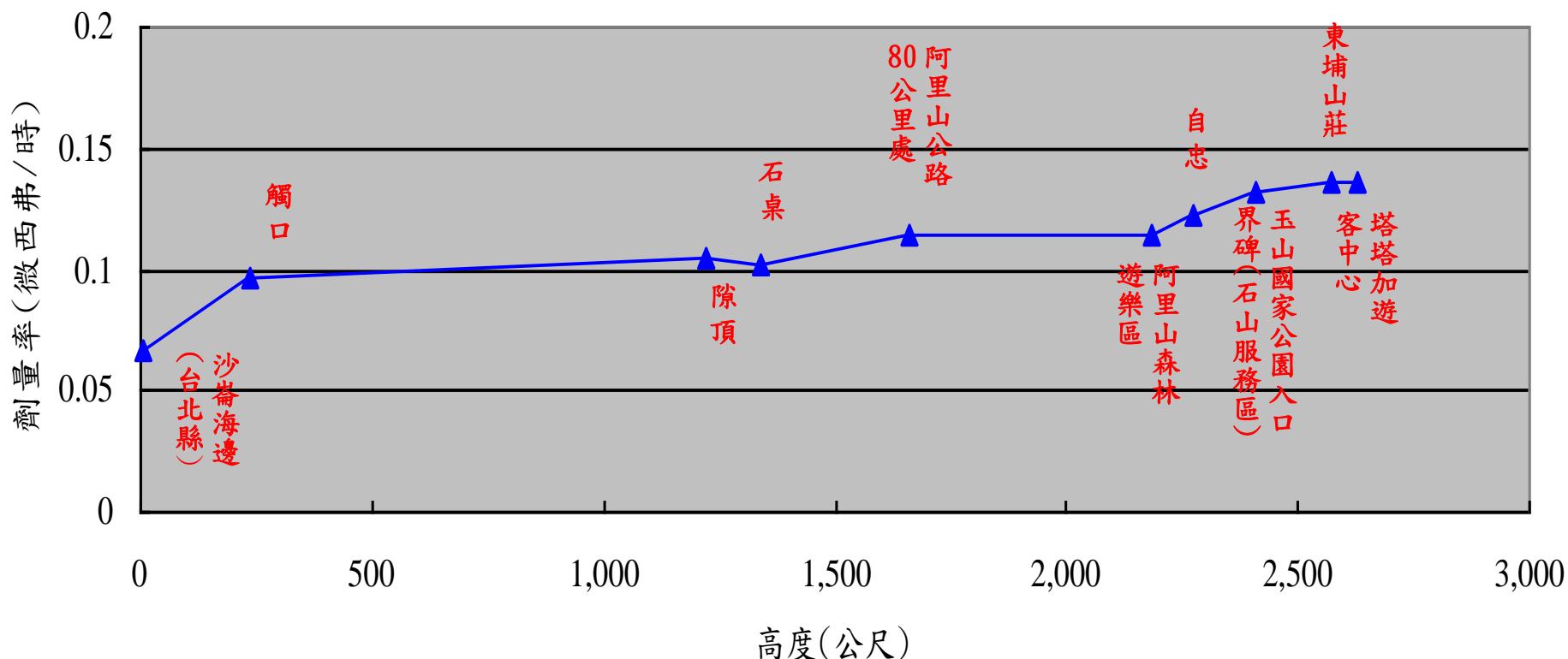
陽明山國家公園之天然輻射

地熱谷及陽明山國家公園自然背景輻射變化圖



玉山國家公園之天然輻射

阿里山森林遊樂區及玉山國家公園自然背景輻射變化圖



天然輻射-建物輻射

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	釷-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
磚 磚	10.78	0.48	0.85
石 棉 瓦 片	12.11	1.45	1.51
白 砂 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

天然輻射-人體內輻射

►人體體重約含0.2%的鉀，其中0.012%為鉀40。

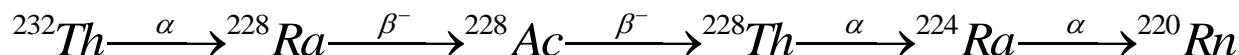
鉀40為 β 放射性核種。

►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。

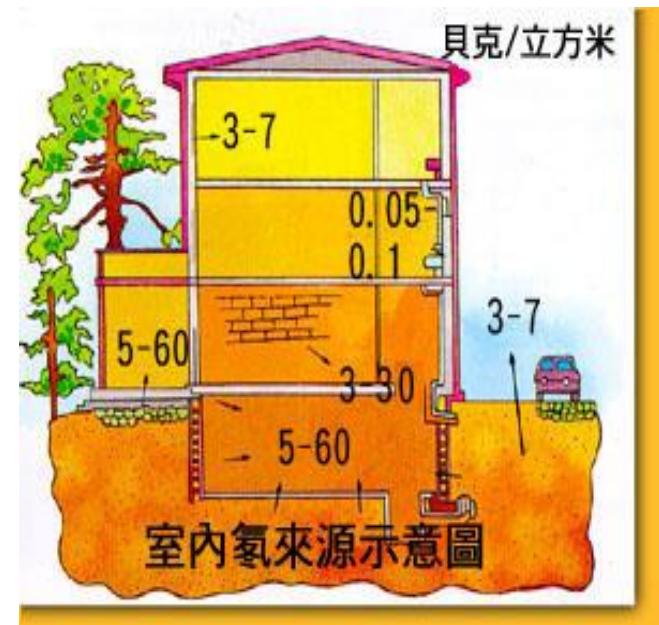


天然輻射 - 氪氣

- 氪 - 天然放射性氣體(α 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。



生活中天然輻射的平均劑量

類 別	世界平均	美 國	日 本	臺 灣
宇宙射線	0.36	0.28	0.38	0.27
地表及建物	0.41	0.28	0.29	0.55
小計(體外輻射)	0.77	0.56	0.67	0.82
氣 等	1.26	2.00	0.56	0.83
鉀40等	0.36	0.39	0.47	0.33
小計(體內輻射)	1.62	2.39	1.03	1.16
合 計(毫西弗/年)	2.40	3.00	1.70	2.00

資料來源：聯合國原子輻射效應科學委員會(1993)

天然輻射導致的平均劑量 (UNSCEAR 2000)

來 源	世界平均(mSv)	範圍(mSv)
體外照射		
宇宙射線	0.4	0.3~1.0
地表 γ 射線	0.5	0.3~0.6
體內照射		
吸入 (主要是氡)	1.2	0.2~10
食入	0.3	0.2~0.8
總 和	2.4	1~10

世界各國的背景劑量

地區或國家名稱	年劑量(毫西弗)	2毫西弗的倍數	說明
伊朗 Ramsar市	6~360	3~180	
印度 Kerralala區十個村莊	平均 13	6.5	
巴西 Espírito Santo	0.9~35	17.5	
大陸 福建鬼頭山區	平均 3.8 最高 120	1.9 60	此等地區民眾癌症發生率與一般地區無明顯差異

原子能的民生應用

研究



微量元素分析



年代測定



示蹤劑

工業



非破壞檢測



厚度測定



夜光錶塗料

農業



食品照射



害蟲防除



品種改良

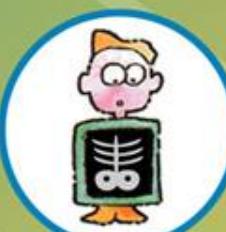
醫療



癌症治療



醫療用具滅菌

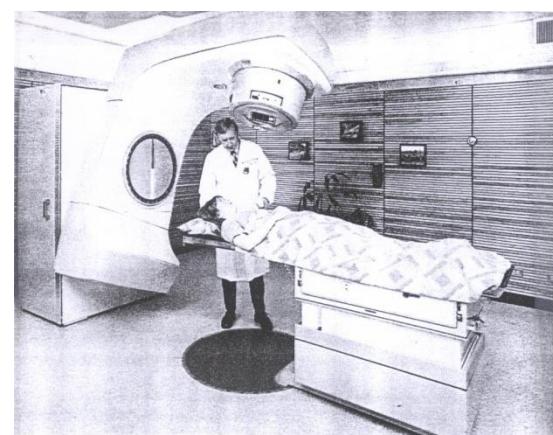
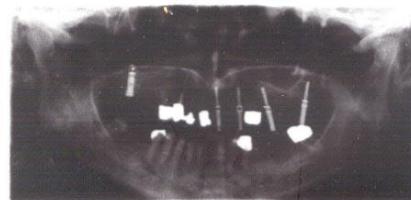
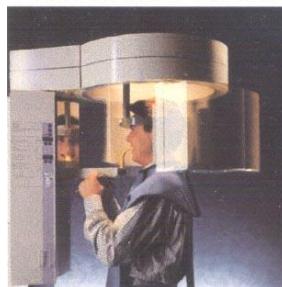


X光檢查

人造輻射-醫療輻射

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



人造輻射-民生消費品

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)



下列將列出一些我們生活中常遇到目熟悉
的含放射性物質的消費性產品，使用輻射偵測儀器
就可偵檢出其高於正常輻射背景值的不同。

煙霧偵檢器 (Smoke Detectors)

大多數住家、辦公場所或廠房內裝置的消防
用途煙霧偵檢器，裡面含一個低放射性的鈙-
241 ($\text{Am}-241$) 輕原子，鈡-241會使阿爾伐粒子而
距離煙霧偵檢器內的空氣使空氣具導電性，任何
進入偵檢器內的煙霧微粒會把電流抑低而啓動警報。
雖然此元件係用來救人生命，但世界各國少
數對核能有興趣的人仍會問：“煙霧偵檢器安
全嗎？”問題的答案當然是：“是的，它們是
安全的。”一般在包裝元件內會有適當安裝、操
作及處置的說明指導。

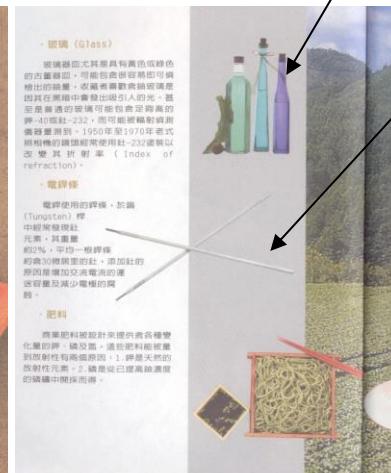


煙霧偵檢器
(^{241}Am)

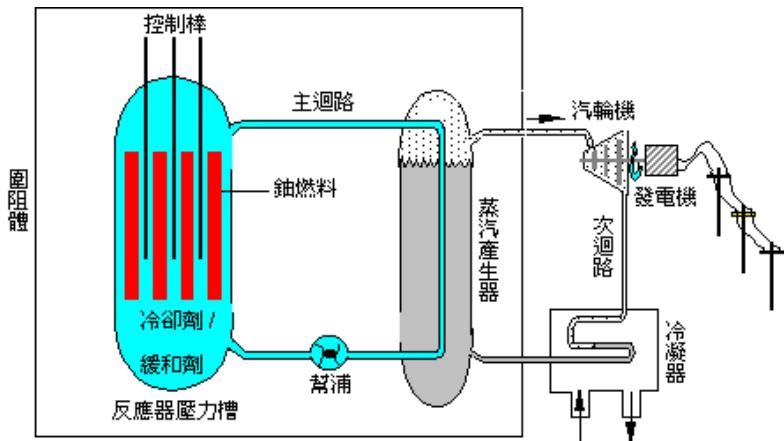
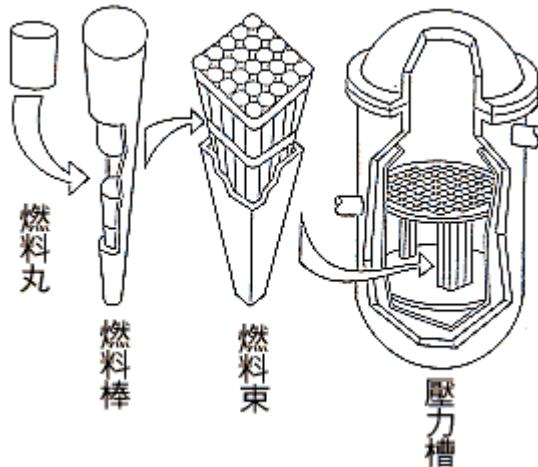
黃綠古董玻璃
(天然的U、Th、K)

電焊條
(鎢桿中的Th)

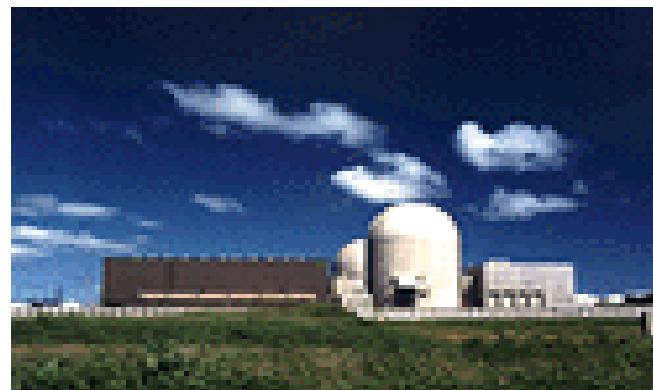
肥料
(K, P, U)



人造輻射-核能設施

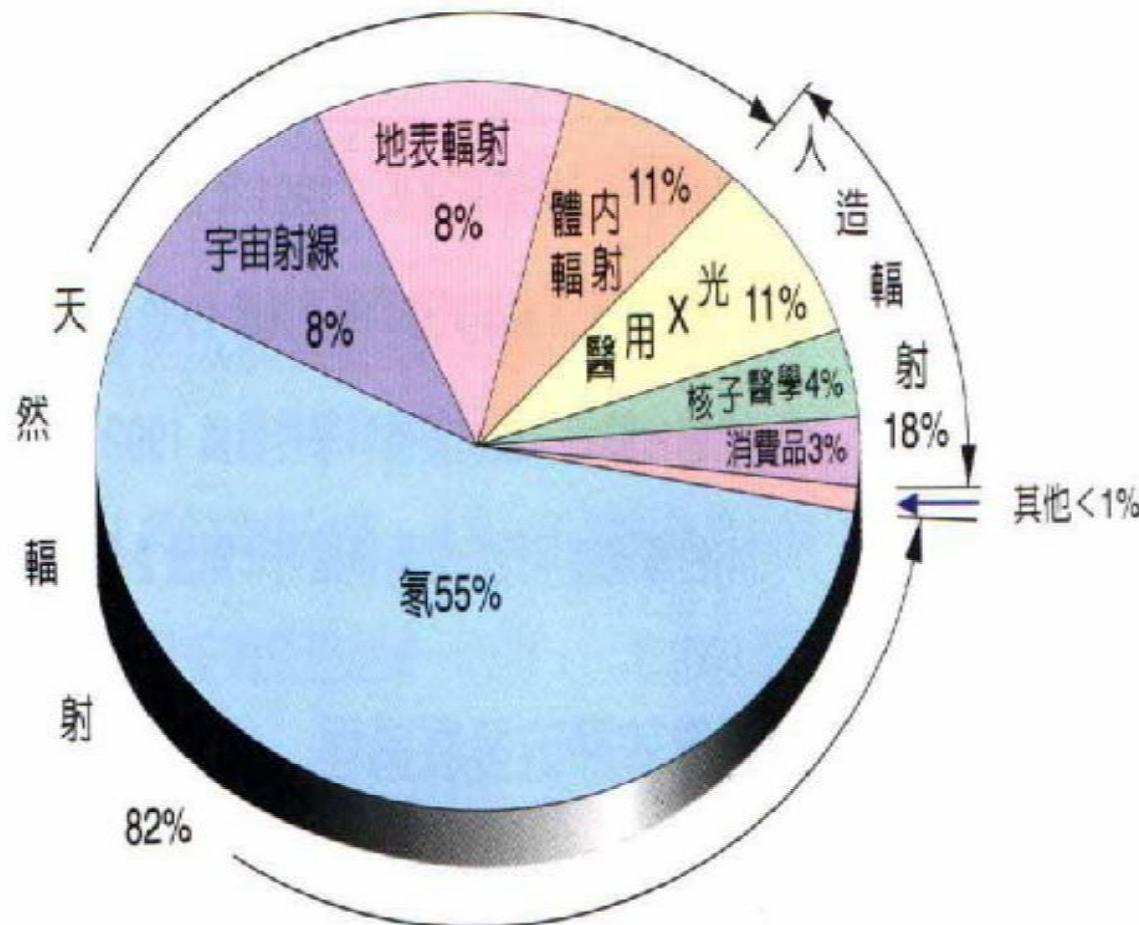


核能電廠

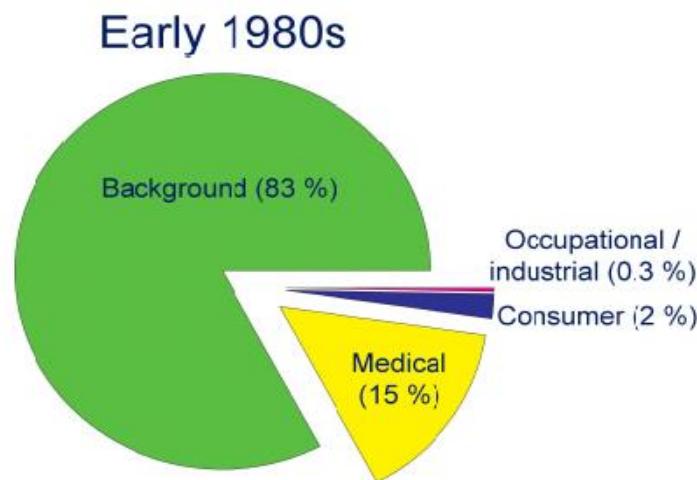


台灣核三廠圖

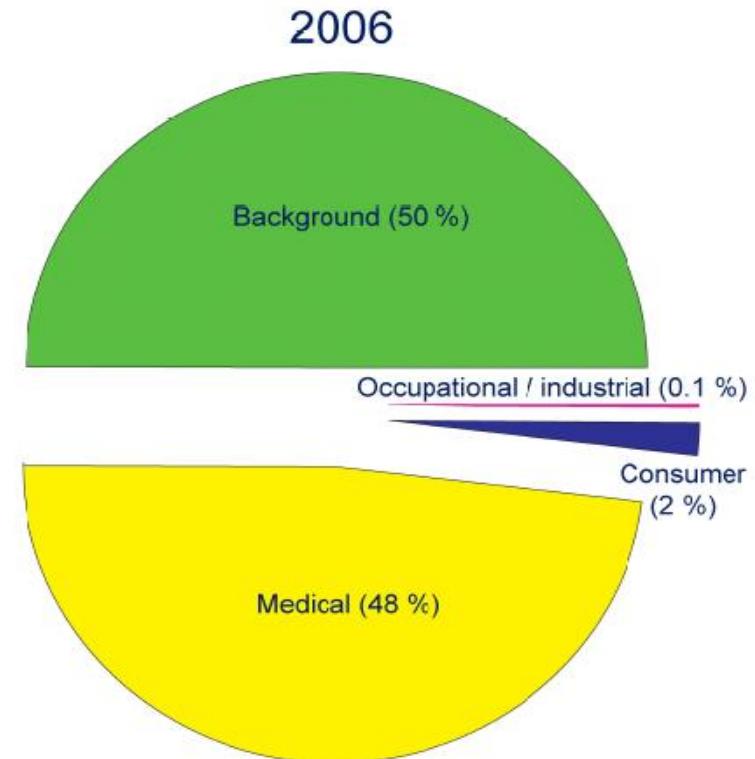
生活中的輻射



國民劑量之趨勢圖



個人劑量：3.6 毫西弗/年

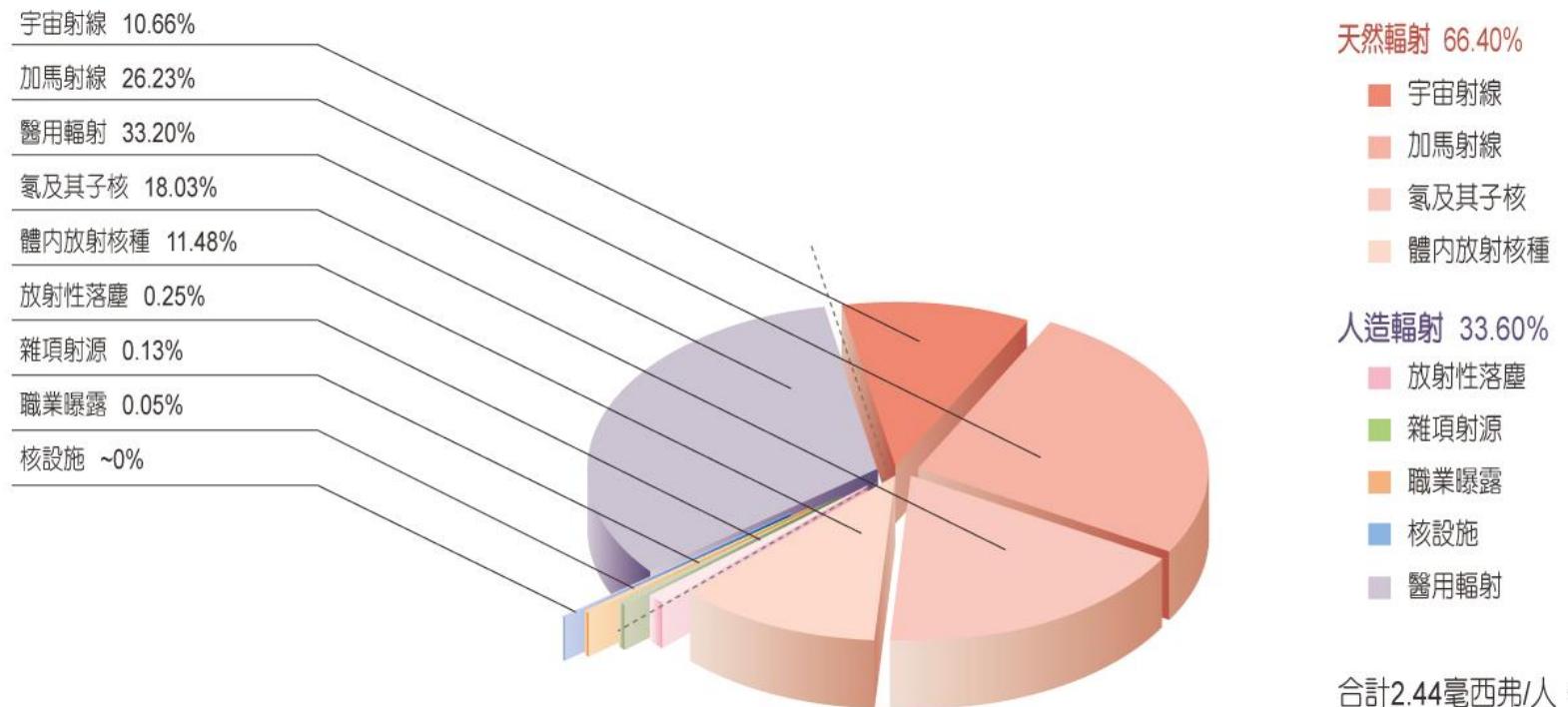


個人劑量：6.2 毫西弗/年

資料來源：美國NCRP 93(1980s) , NCRP 160(2006)

台灣地區國民輻射劑量

台灣地區國民輻射劑量評估結果分布圖



資料來源：台灣電力公司 2009

核子事故嚴重性程度

表一 國際核能事件分級制度基本架構

等 級	準則1	準則2	準則3
	廠外衝擊程度	廠內衝擊程度	安全防禦之衰減程度
7級 (最嚴重意外事故)	極大量放射性物質外釋: 造成廣泛性環境之影響		
6級 (嚴重意外事故)	發生極顯著放射性物質 外釋:造成廣泛性環境之 影響		
5級 (廠外意外事故)	有限度之放射性物質外 釋:造成局部部份施行區域 性緊急計畫	嚴重之核心或放射性屏 蔽破損狀態	
4級 (廠區意外事故)	輕微放射性物質外釋: 造成民眾輻射曝露達規 定限值程度	局部性核心或放射性屏 蔽破損之狀態,工作人員 有致命性曝露發生	
3級 (嚴重事件)	極小量之放射性物質外 釋:造成民眾輻射曝露 尚未達規定限值之程度	發生大量污染擴散及工 作人員有輻射急性效應 發生	接近發生事故狀態, 喪失安全防禦功能程度
2級 (偶發事件)		重要污染擴散及人員經 曝露狀況	發生潛在安全影響之事 件
1級 (異常警示)			發生功能性上之偏差
0級 (未達級數)		無 安 全 顧 處	

1986年蘇聯車諾比事故
2011年日本福島事故

1979年
美國三哩島事故

日本東海村JCO事故

2001年
核三廠廠區緊急事件

2000及2002年
核二廠緊急戒備事件

三哩島、車諾比、福島意外事故評析

反應器類型：
三哩島 -- 壓水式反應器
車諾比 -- 石墨水冷反應器
福 島 -- 沸水式反應器

事故肇因：
三哩島 -- 機件故障與人為誤失
車諾比 -- 嚴重設計缺陷
福 島 -- 天然災害

事故特質：

三哩島：喪失冷卻，爐心熔毀，放射性物質自燃料丸釋出，
但處置適當，圍阻體保持完整

車諾比：反應器連鎖反應失去控制，造成反應器**瞬間**因水蒸
汽與氫氣爆炸而解體，大量放射性物質外釋

福 島：多機組同時發生事故，喪失冷卻，爐心熔毀，放射性
物質自燃料丸釋出，一部機組的圍阻體喪失能，
用過燃料儲存池中的燃料未為水覆蓋

三哩島、車諾比、福島意外事故評析

事故影響：

三哩島：極微量的放射性物質外釋，未對電廠員工或附近民眾造成任何程度的輻射傷害；使核工業界認識到輕水式反應器的爐心有可能會熔毀，後續進行軟硬體措施的改善。

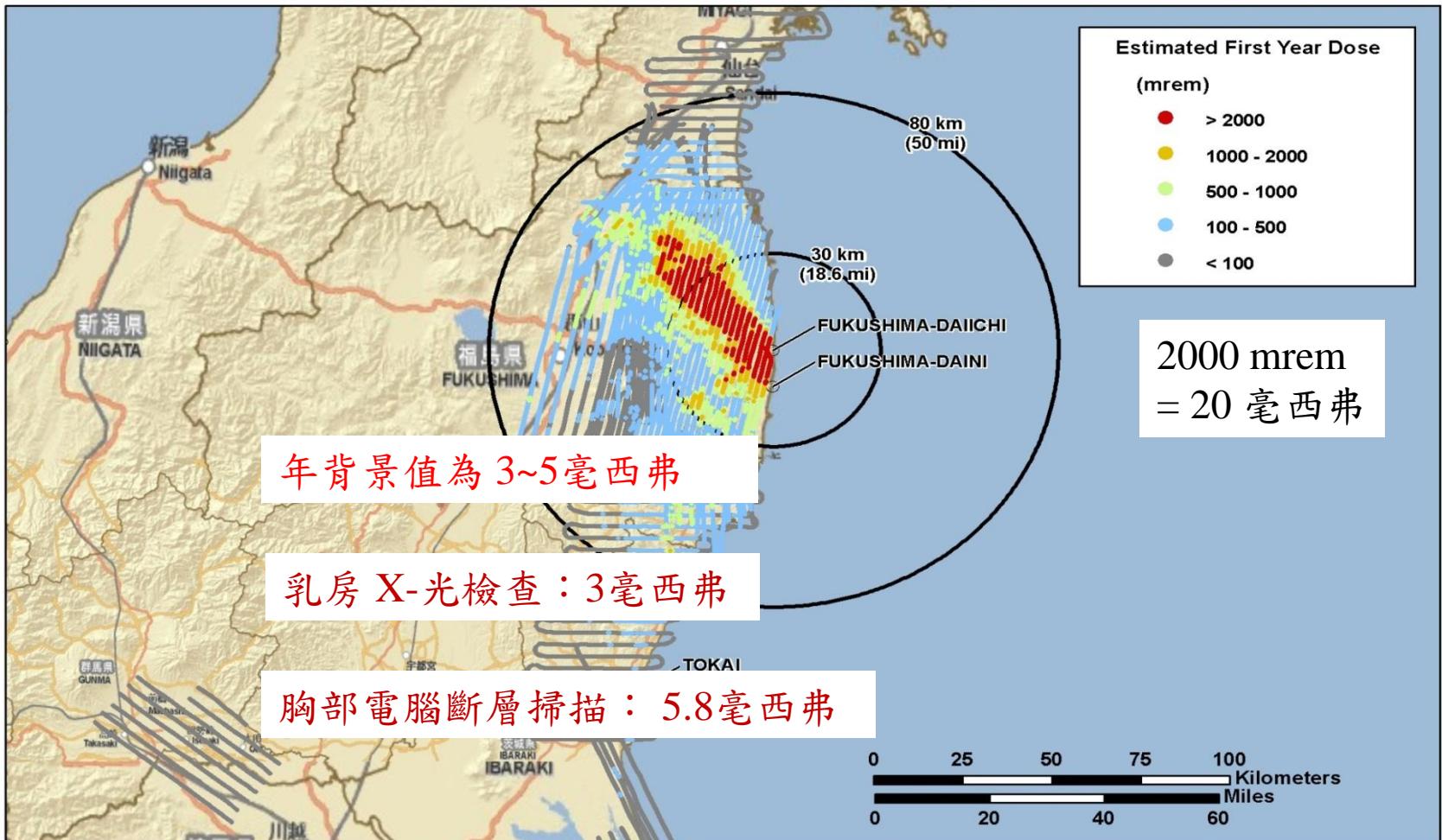
車諾比：水蒸汽與輕器爆炸及後續之石墨火災造成極大量放射性物質外釋到外界環境，237名電廠員工與救災人員因劑量過高，有『急性輻射傷害症狀』，31人於三個月內死亡，但沒有民眾有此症狀；電廠附近4,300平方公里的土地被劃為禁入區，220,000居民遷移。受輻射影響居民的健康效應是許多研究的重點。外釋的輻射擴散到全歐洲。

福 島：大量高揮發性放射性物質外釋，依日本政府的最新評估，外釋量已達國際原子能總署事故分類的第七級。日本政府依緊急應變規劃，在極大範圍內，採取民眾防護設施。尚未發現任何工作人員產生『急性輻射傷害症狀』。未來勢必讓全球的核能使用國家檢討核電廠防震與防海嘯設計，以及廠內外緊急應變的相關程序。

First-Year Dose Estimate

Dose Commencing March 16, 2011 for 365 Days

FUKUSHIMA DAIICHI
JAPAN



認識核廢料

什麼是核廢料？

核廢料又稱放射性廢棄物，係指具有放射性或受放射性物質污染之廢棄物。可分為高放射性廢棄物與低放射性廢棄物。

- 高放射性廢棄物：用過核燃料、用過核燃料再處理所產生之廢棄物。
- 低放射性廢棄物：其他不屬於高放射性廢棄物者。

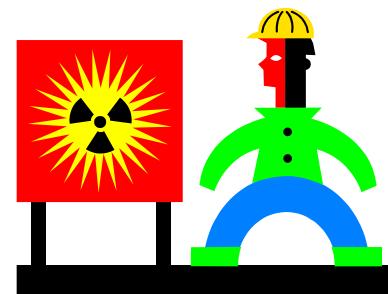
依其物理形態可分為：氣態、液態、固態三種。

來源：(1)醫、農、工、研等、(2)核能電廠。

放射性廢棄物來源

醫、農、工、研等：

- 核能研究所及清華大學研究用核反應器，所產生之用過核子燃料。（高放射性廢棄物）
- 醫療、農業、工業、研究等不再使用的放射性物質與射源，及受其污染廢棄的衣物與器具等（低放射性廢棄物）。



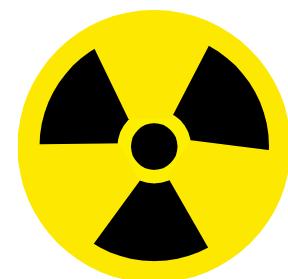
放射性廢棄物來源

核能電廠：

- 用過核燃料：核電廠開始運轉後，約18個月更換一次爐心燃料，每次約取出三分之一用過核燃料。目前均暫貯於各設施之用過燃料水池中。（高放射性廢棄物）
- 運轉廢棄物：運轉時產生的廢水、過濾用的樹脂，受污染的廢棄衣物、手套等。（低放射性廢棄物）
- 拆廠廢棄物：被中子活化的核反應器組件及拆除受污染廠房產生之廢棄物。（低放射性廢棄物）

放射性廢棄物特性

- 會放出無色、無臭、無味、無聲的游離輻射。
- 可能造成體內輻射劑量或體外輻射劑量。
- 含一種或多種的放射性核種，其活度會隨時間的增長而遞減。



我國核廢料管理策略

低放射性廢棄物採取「減少產生、減容固化、安全貯存、妥善處置」之策略。

- 減少產生：原能會已訂定減廢目標值，核能一、二、三廠的放射性廢棄物產生量，已逐年減少。
- 減容固化：廢棄物須先經過焚化、壓縮或固化處理後，再以鋼桶盛裝。
- 安全貯存：目前經水泥固化裝桶的廢棄物，均貯存在蘭嶼貯存場及各核能設施的廢棄物倉庫內。
- 妥善處置：採境內處置為原則。

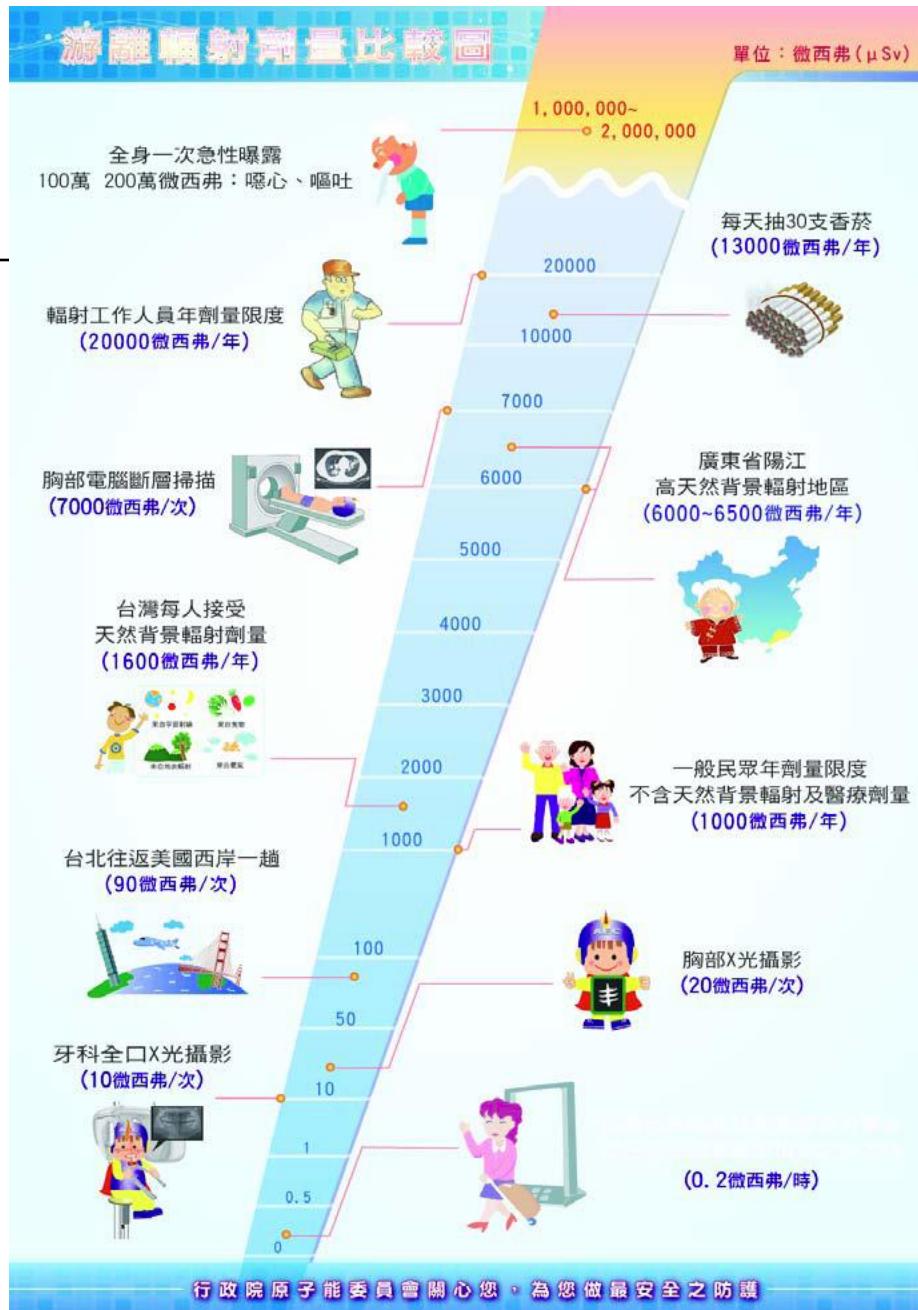


我國核廢料管理策略(續)

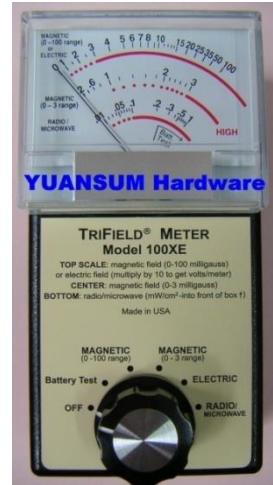
用過核子燃料管理策略：

- 近程採廠內燃料池貯存
- 中程採廠區乾式貯存並適時評估再處理的可行性
- 長程推動最終處置





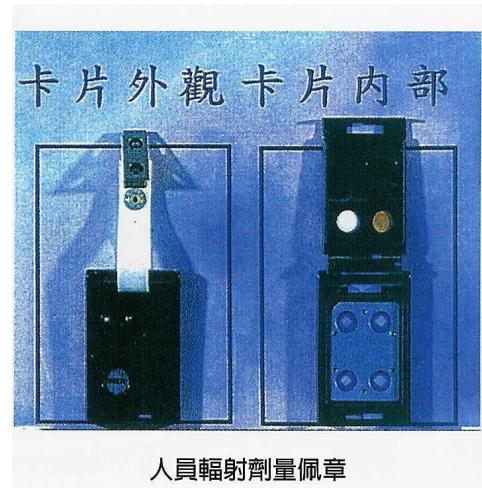
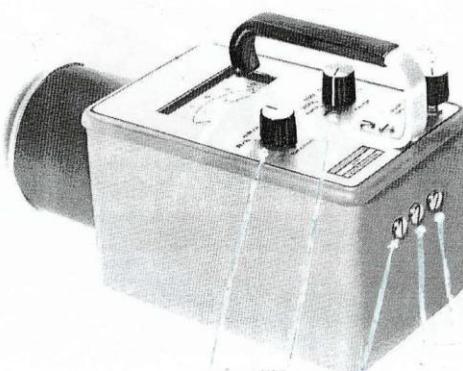
輻射的偵測



輻射偵測原理

利用輻射與物質作用產生

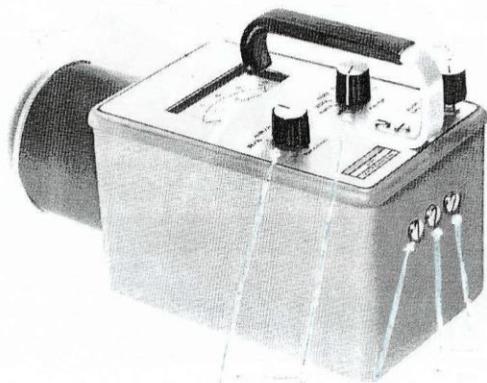
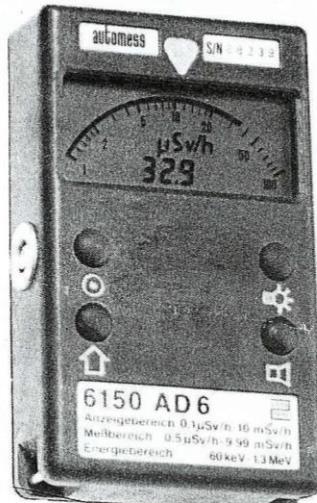
電、光、化學、熱量、核反應



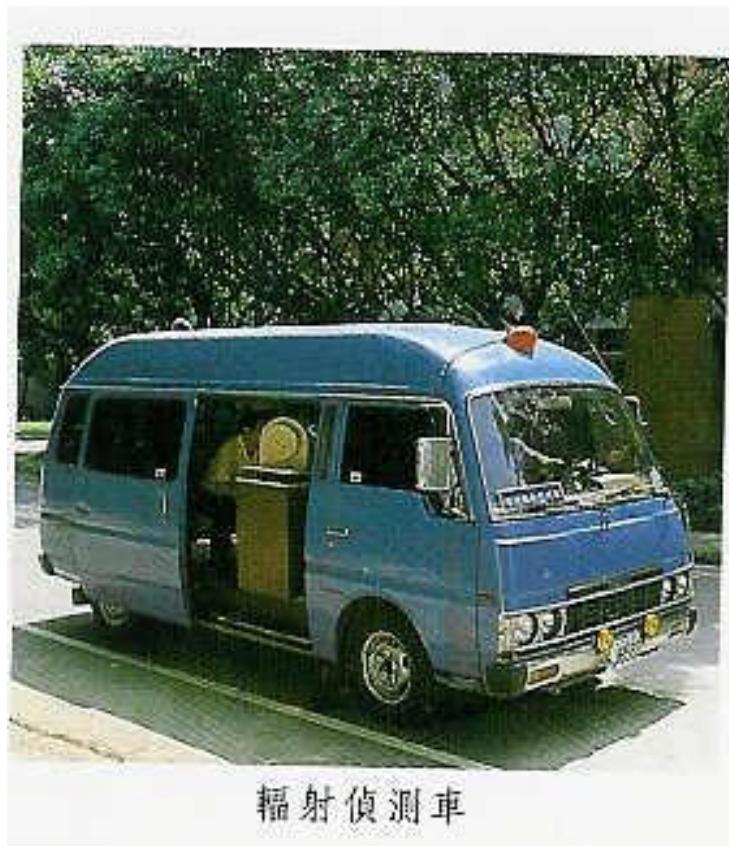
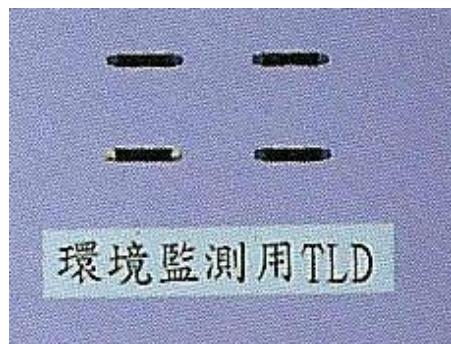
使用輻射偵檢器的注意事項

- 確定所使用的輻射偵檢器適用於所要偵測的對象(α ， β 或 γ 射線)。
- 估計所要測的劑量率範圍，確定所使用的輻射偵檢器符合此範圍。
- 考慮工作環境，選擇不同形式或外觀的偵檢器。
- 有些偵檢器附有喇叭，可從聲音的疏密判斷劑量率的高低，有些並附有警號，如有必要亦可列入考慮。
- 定期校正。

輕便型(手提式)偵檢器



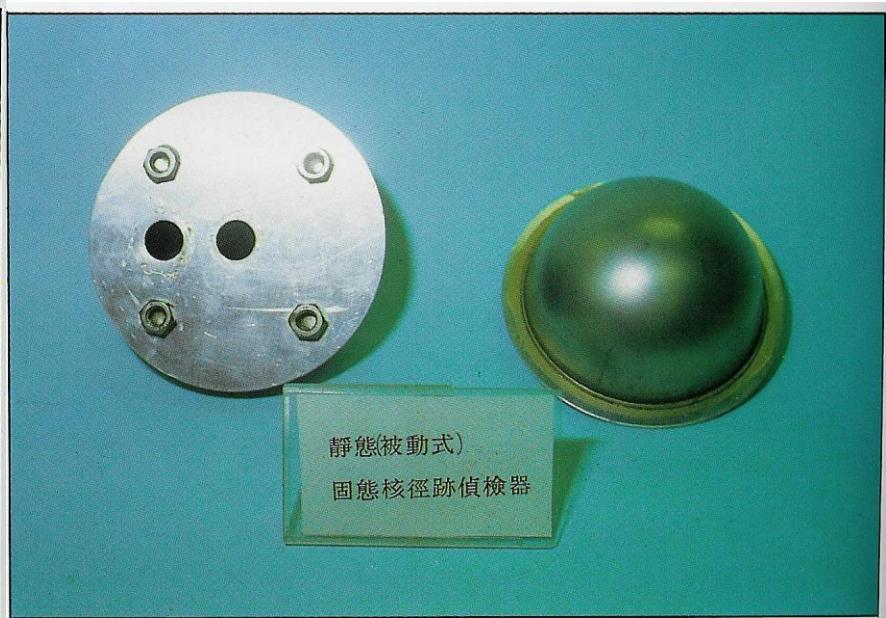
地區偵檢器



空氣監測器



動力式（即時）氫氣監測器



本所自製靜態式氫氣偵檢器

人員劑量計及人員劑量警報器

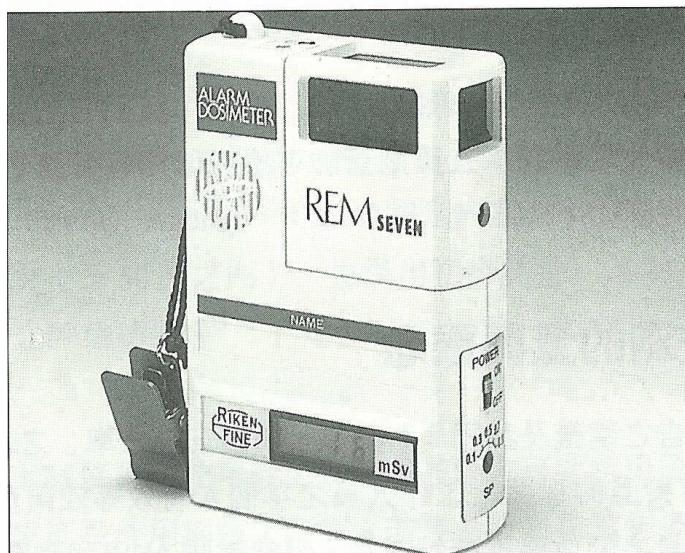
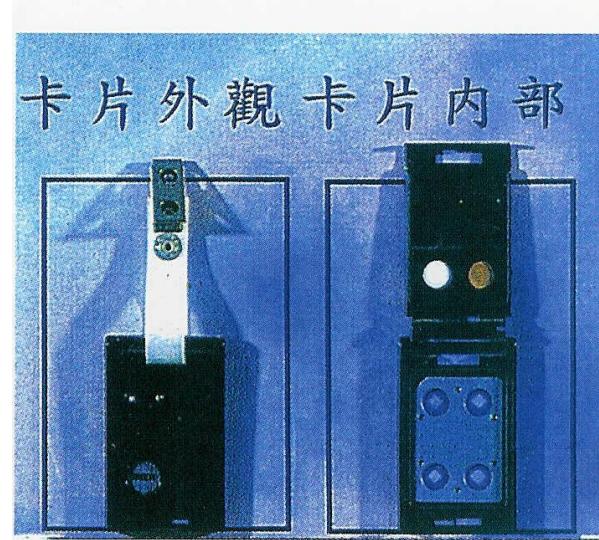


圖 1 個人警報器



人員輻射劑量佩章

人員、物品、地面污染偵檢器

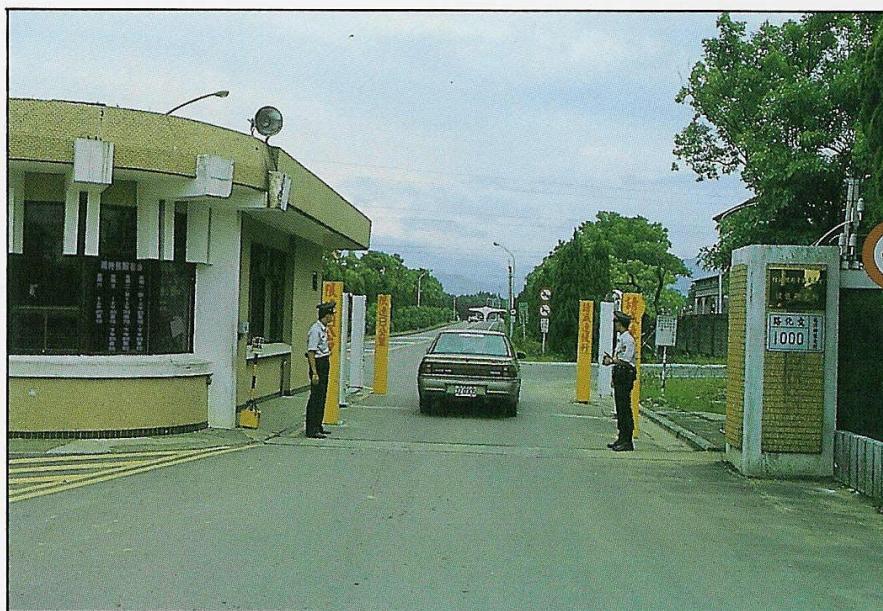


手足污染監測器

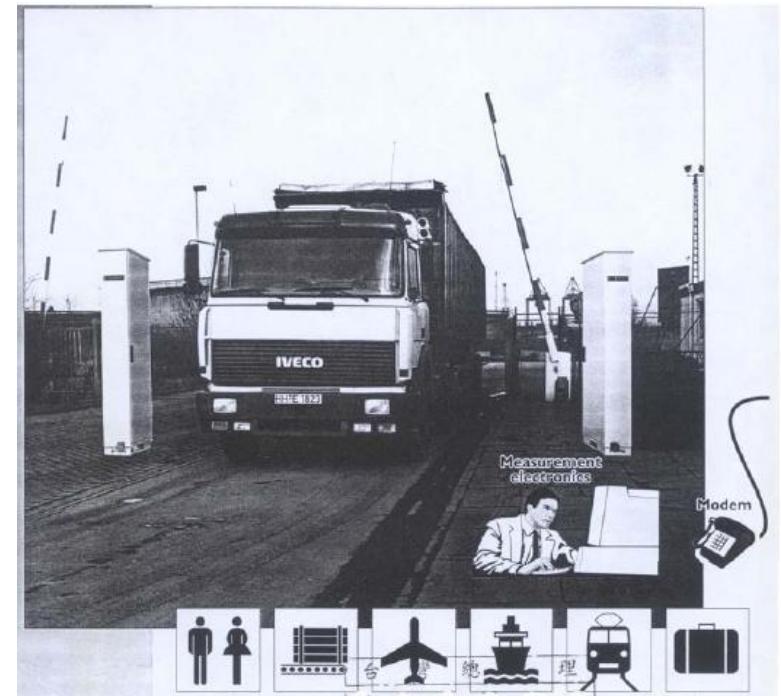


全身監測器

車輛自動偵檢器



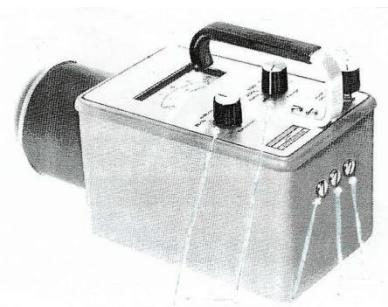
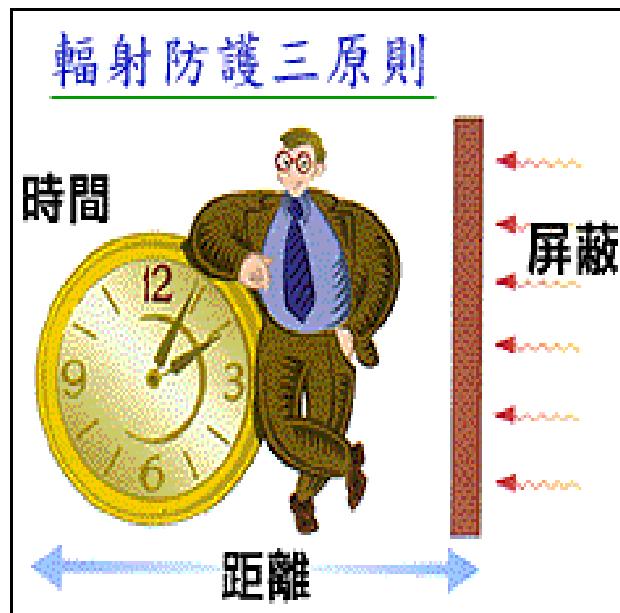
車輛輻射偵測器



進出海關碼頭之門型偵檢器

讓我們來看看 游離輻射的特性吧！

- 輻射屏蔽
- 輻射劑量與距離的關係



讓我們來 找一找校園內的輻射吧！



	游離輻射		非游離輻射	
儀器名稱	FS-99 快速輻射偵檢器 	INER-9200 多用途輻射偵測儀 	電磁波 三用測量儀 	TM-191 電磁波測試 
偵測種類	加馬射線 X射線	阿伐射線 貝他射線 加馬射線	磁場、 電場、 無線電/微波	極低頻 (50/60Hz) 電力電磁場
適用對象	環境中的游離輻射	環境中的游離輻射	家電產品 手機 電腦 無線電話等	家電產品



szuli_c@yahoo.com