

輻射與健康





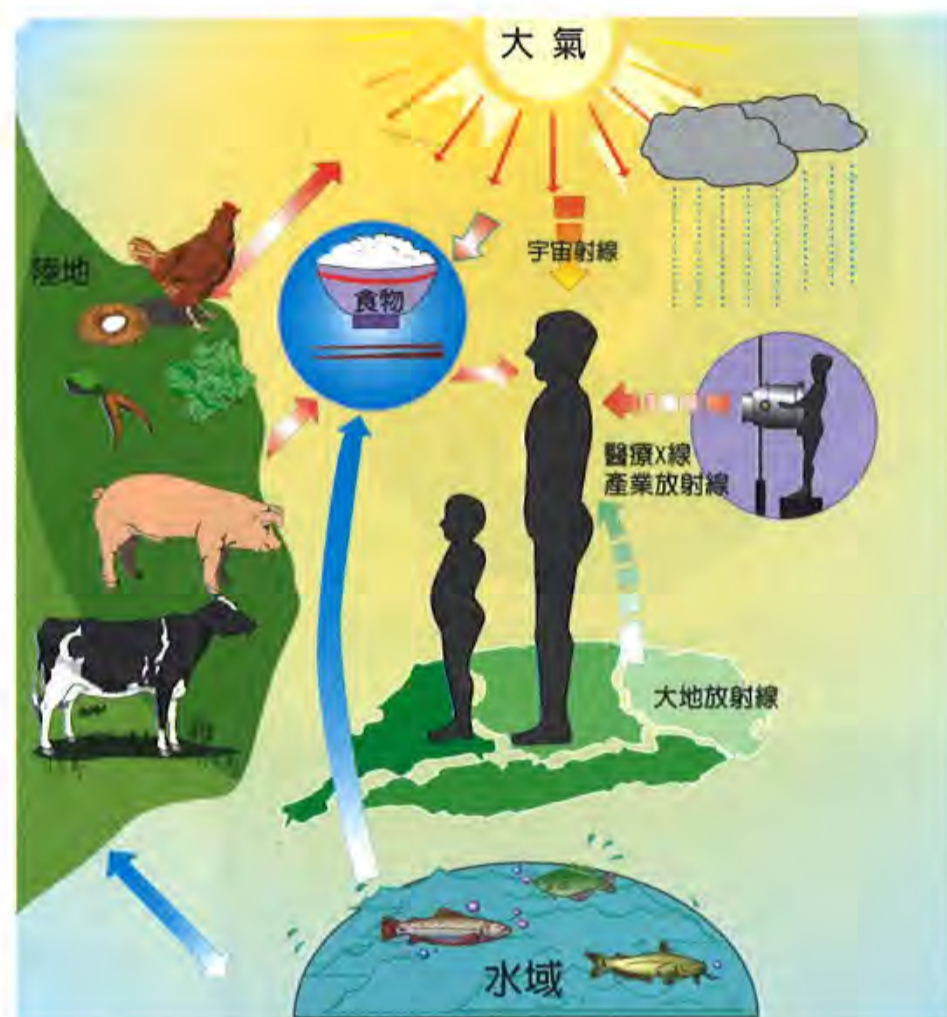
輻射 & 健康

一、輻射的本質	1
二、輻射的度量與單位	9
三、輻射的健康效應	16
四、輻射的防護	30
五、我們所關心的輻安問題	32
六、結語	37
七、附錄	38

一、輻射的本質

在我們生活的大自然裡，輻射與陽光、空氣、水一樣地伴著我們，然而因為輻射來無影去無蹤，使得大家對輻射給予較多的關注。既然輻射伴著我們同在，只有對它的本質多做瞭解才能避免不必要的疑慮。輻射的發現至今不過一百年左右，但它帶給人類在醫學、生物科技和工業上的益處卻非常大。當然這段期間人類也瞭解到過量的輻射確實有害人體健康，而少量的輻射則無法證實對人體有任何負面的影響。

爲了使大眾對輻射有正確的認識，解除心中不必要之疑慮，我們首先將從輻射的本質談起，然後介紹輻射的健康效應，最後討論大家所關心國內外一些輻射安全的話題。



人類自古至今生存在一個陽光、空氣、水與輻射的自然環境中

(一)如何定義輻射？

輻射是一種能量，以波動或高速粒子的形態傳送。我們依它能量的高低分成非游離輻射和游離輻射兩類。

- 1.非游離輻射：指能量低無法產生游離的輻射，例如太陽光、燈光、紅外線、微波、無線電波、雷達波等屬之。
- 2.游離輻射：指能量高能使物質產生游離作用的輻射。游離輻射又區分(1)電磁輻射，(2)粒子輻射。

一般所謂的輻射或放射線，都是指游離輻射而言。圖1.1的輻射分類和圖1.2的電磁波能譜圖都能幫助我們了解輻射的定義和範圍。

輻射與健康

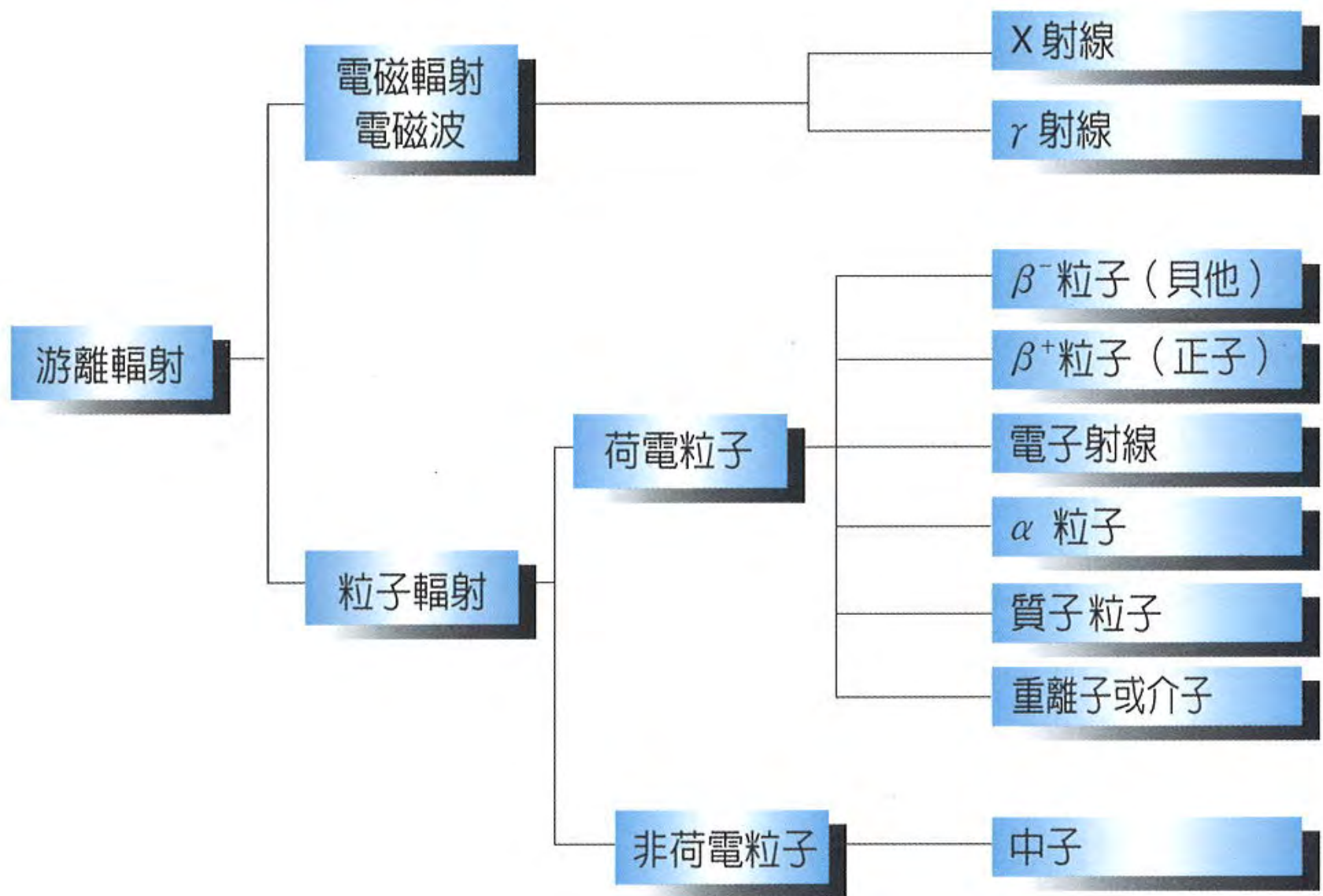


圖 1.1 游離輻射的分類

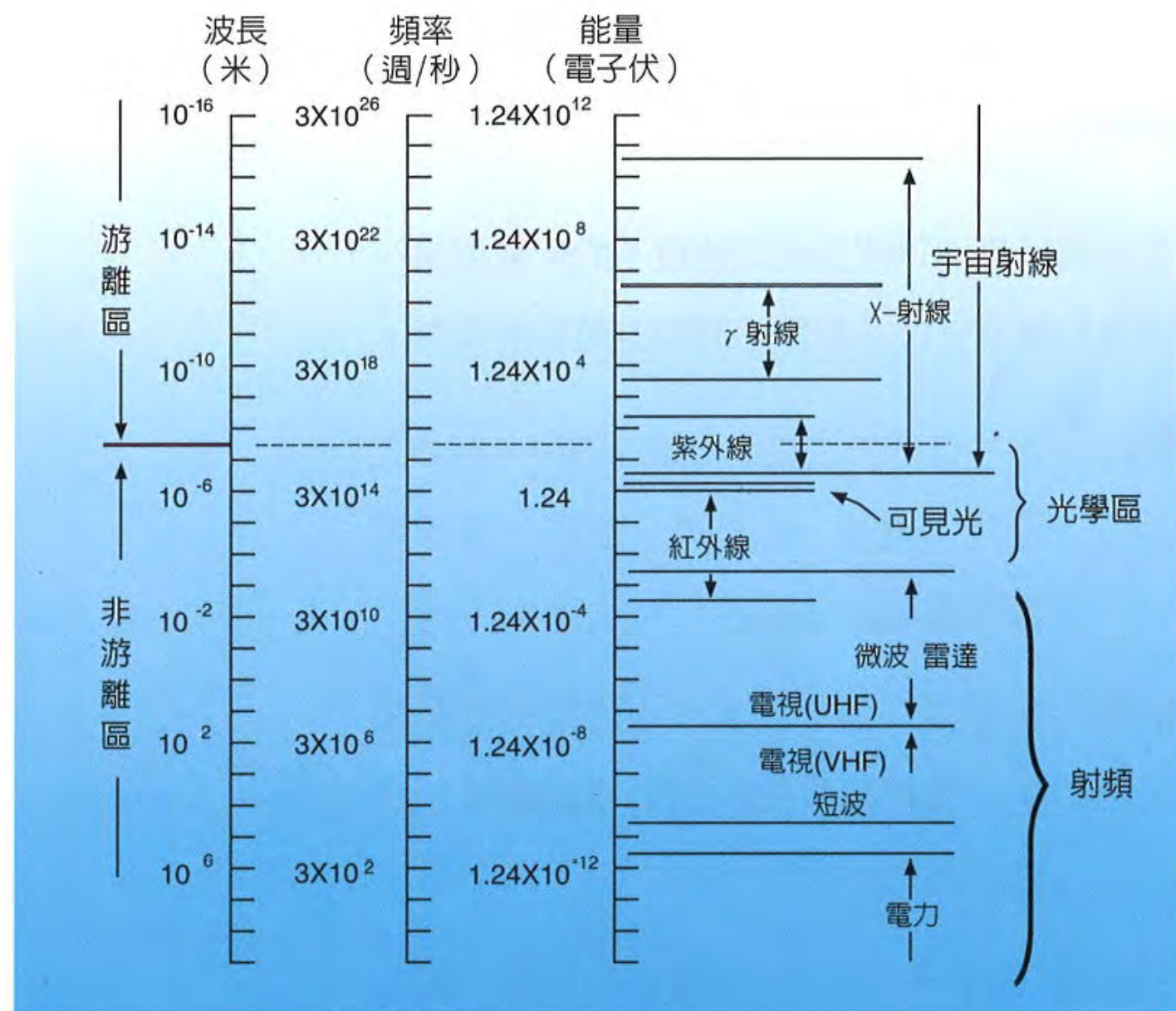


圖 1.2 電磁輻射的能譜圖

(二) 輻射是誰發現的？

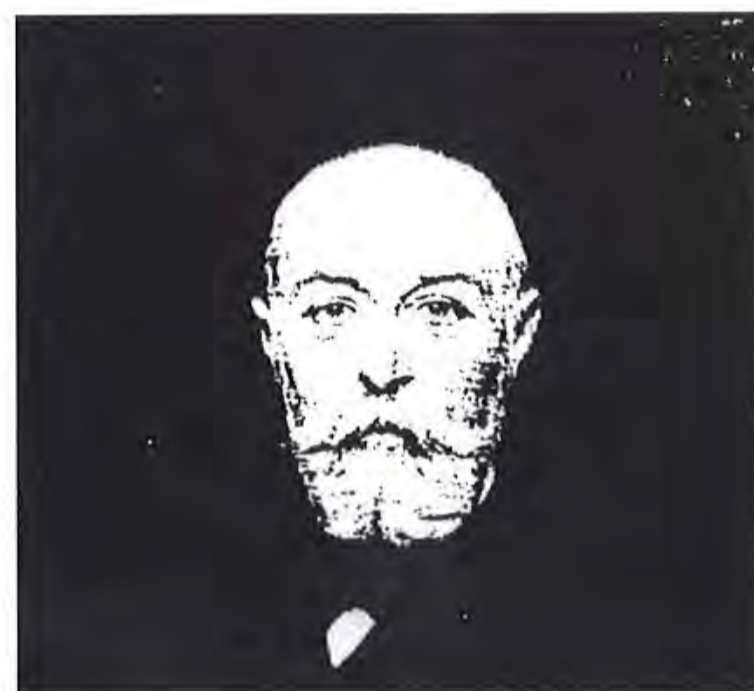
最早在1895年11月，德國物理學教授倫琴(Roentgen)發現一種眼睛看不見但能穿透物質的射線。因不知其名，故稱它為X射線，一般俗稱X光。隨後不久發現X射線會使空氣游離而導電。

緊接著在1896年2月，法國科學家貝克(Becquerel)發現鈾的化合物會發出一種不同於X射線，但也具有穿透能力能使照相底片感光的射線，稱它為鈾放射線。他是第一位發現放射性的人。

兩年後，1898年7月在法國巴黎，居里(Curie)夫婦兩人首次自瀝青鈾礦中提煉出一種新元素，命名為釷(Po)以紀念居里夫人的祖國波蘭。同年12月又成功地分離出另一新元素鐳(Ra)。「放射性」這個名詞就是居里夫人所創的。輻射無疑地是19世紀末人類重大的發現。



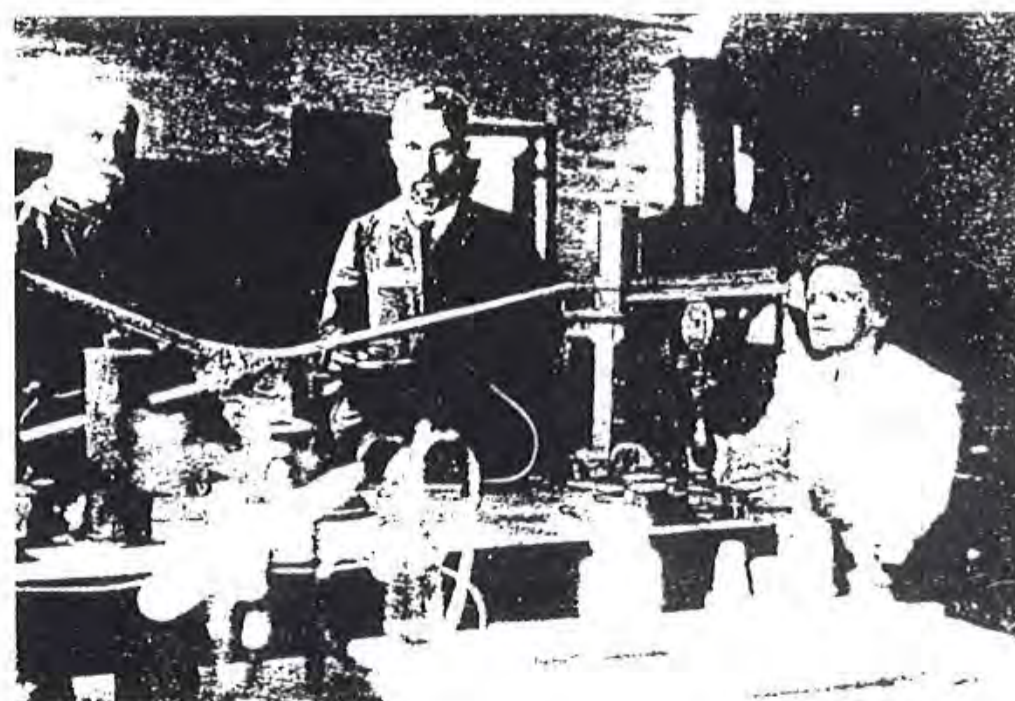
倫琴(Roentgen, 1845-1923)



貝克(Becquerel, 1852-1908)



倫琴夫人手部X光照片(攝於1895年12月22日)



實驗中的居里先生(中)，居里夫人(右)和助理(左)

輻射與健康

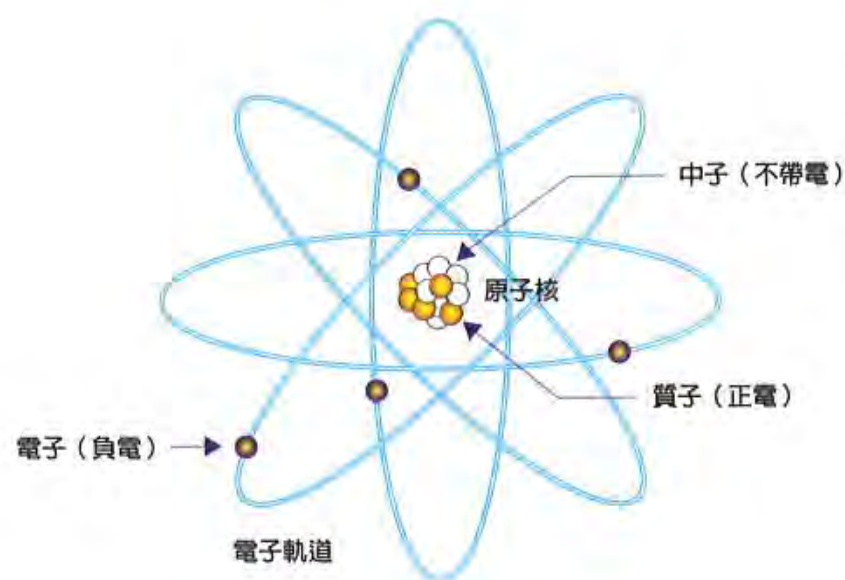


圖 1.3 原子結構示意圖

(三)原子的構造

原子的中心為原子核，內含質子和中子，體積很小但質量很大。原子核的外面有電子，像行星繞太陽一般，循著固定的軌道繞著原子核旋轉。圖 1.3 即原子結構示意圖。

我們把原子核內質子數和中子數的總和稱作質量數，例如鈷 60，記成 ^{60}Co ，它有 27 個質子和 33 個中子，其質量數為 60。

(四)同位素是什麼？

質子的數目決定元素的名稱，若某一元素含有不同的中子數目，則稱為該元素的同位素。例如鈷的同位素有五種分別是 ^{56}Co ， ^{57}Co ， ^{58}Co ， ^{59}Co ， ^{60}Co ，除了 ^{59}Co 是穩定同位素外，其餘都具有放射性。

我們常聽說放射性同位素，就是具有放射性的同位素，例如氚(^3H)，碳 14(^{14}C)，鈷 60(^{60}Co)，鉀 40(^{40}K)，鈾 235 (^{235}U)，鈾 238(^{238}U)。目前已知天然存在的同位素約有 330 種，其中大約 270 種是穩定同位素，其餘是不穩定的放射性同位素。

(五)輻射是怎麼產生的？

當不穩定的原子核自發性地蛻變成穩定原子核時，所釋放的能量，以電磁波或粒子的形態射出，即為輻射(俗稱放射線)。以鈷 60 為例(圖 1.4)，它先放出一個貝他粒子(負電子)轉變成鎳 60，但此時鎳 60 原子核很不穩定，它又迅速放出兩道加馬射線(電磁波)才形成穩定同位素。所以，一個鈷 60 原子產生蛻變時會放出一個貝他粒子和二道加馬射線。

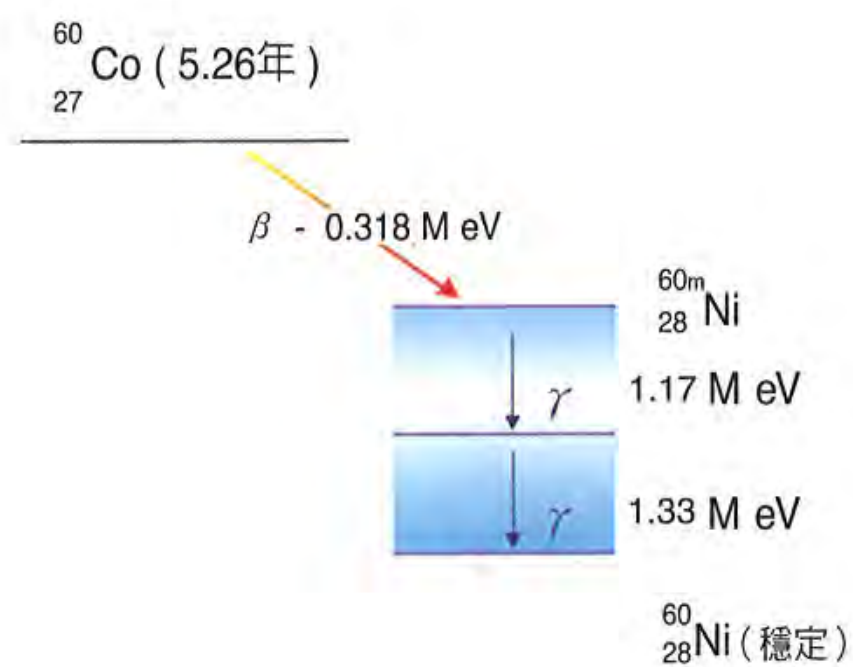
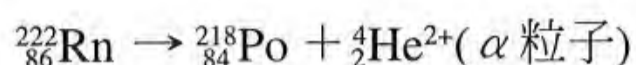


圖 1.4 鈷 60 蛻變後發出輻射

其他例子，如空氣中天然存在的放射性同位素氡 222，它射出帶二個正電荷的阿伐粒子，形成釷 218：



阿伐粒子就是氦核，含2個質子和2個中子。釷218也具放射性，會繼續蛻變下去。

我們定期作胸部X光檢查時，不禁要問這X光到底是怎麼產生的？原來當高速電子撞擊重原子核時(例如鎢元素)就會產生連續X射線，在醫學上的用途非常大。另外，高能軌道電子跳回低能軌道時會產生特性X射線，可應用在金屬元素的定性、定量分析工作。圖 1.5 顯示兩種 X 射線的產生原理。

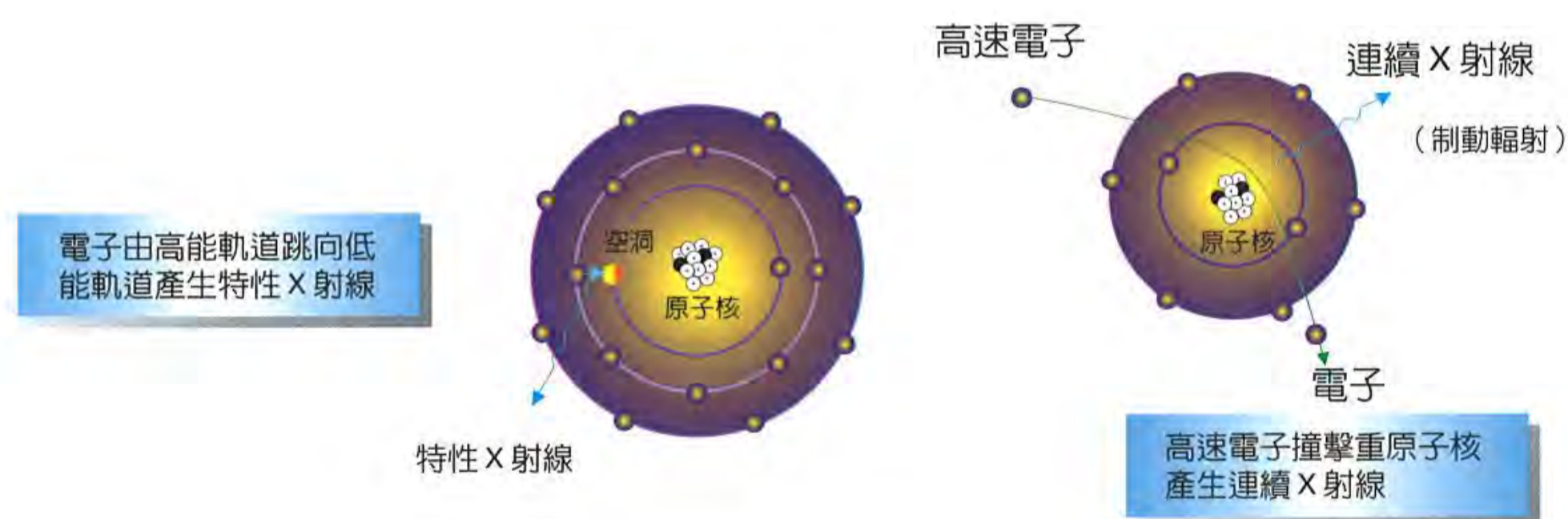


圖 1.5 兩種 X 射線的產生原理

(六)輻射有那些特性？

輻射有四個重要的特性是大家必須要認識的：

1.放射性蛻變是自發性反應：

放射性同位素(另稱放射性核種)的蛻變是自發性的，無法以物理或化學的手段去改變它。

輻射與健康

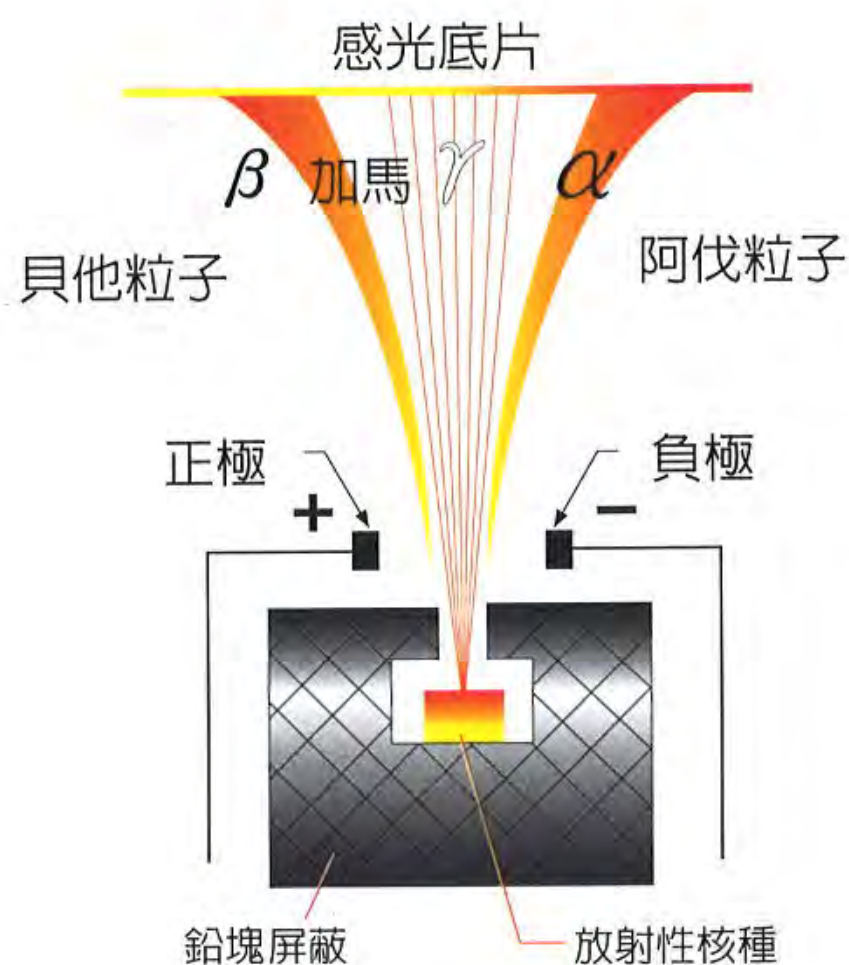


圖 1.6 輻射線受電場影響

2. 輻射受電場影響：

輻射若帶有電荷，則其行進時會受電場影響而偏轉。加馬射線因不帶電荷，故其軌跡不會受電場偏轉。圖1.6說明電場如何影響帶正電阿伐粒子與帶負電貝他粒子射線的行進軌跡。

3. 輻射強度隨時間之增加而遞減：

放射性同位素的蛻變率(或輻射強度)會隨時間之增加而遞減，如圖1.7所示。輻射強度每減少一半所需要的時間稱為半衰期。各放射性核種的半衰期都不相同。例如國內發現的輻射鋼筋內所含⁶⁰Co的半衰期為5.26年，空氣中氡222的半衰期為3.82天。

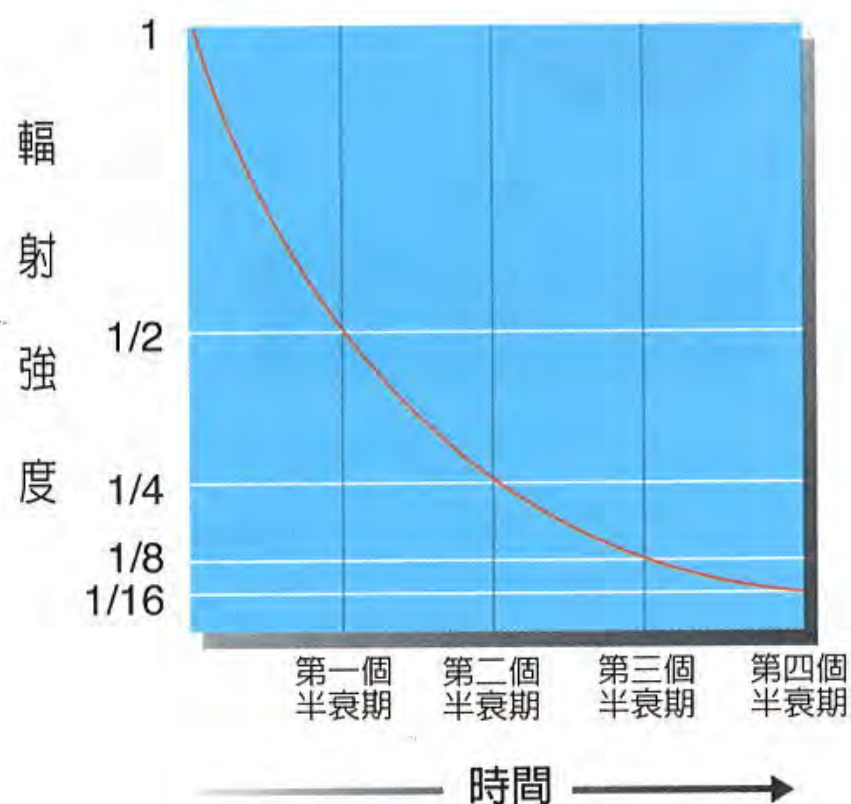


圖 1.7 放射性核種的輻射強度會隨時間之增加而衰減

4. 不同的輻射有不同的穿透能力

圖 1.8 顯示阿伐射線的穿透能力最弱，一張紙即可擋住。加馬或X射線的穿透力最強，需要適當厚度的混凝土或鉛板才能有效阻擋，貝他射線則介於上述兩者之間，能穿過紙張，但無法穿透鋁板。

輻射屏蔽 不同輻射粒子之屏蔽

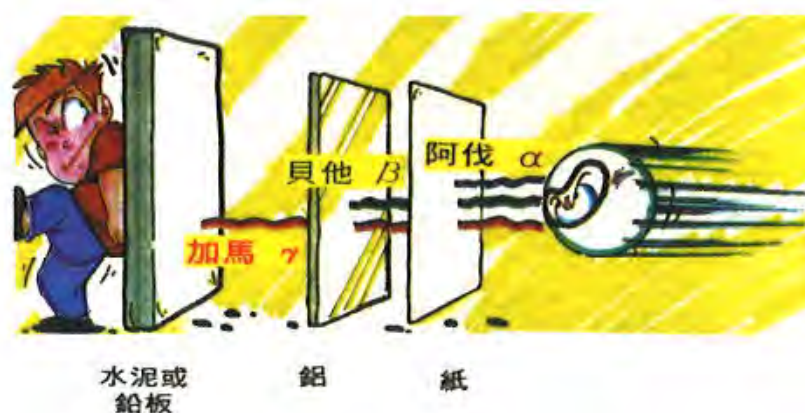


圖 1.8 阿伐、貝他、加馬射線的穿透力

因此，屏蔽X射線或加馬射線的材料，以密度高的材質為佳。例如圖 1.9 顯示，用鉛做鈷 60 射源的容器，其厚度最小，鐵則需厚些，水泥要再厚些。若用水做屏蔽，則需更厚才能達到相同的屏蔽效果。

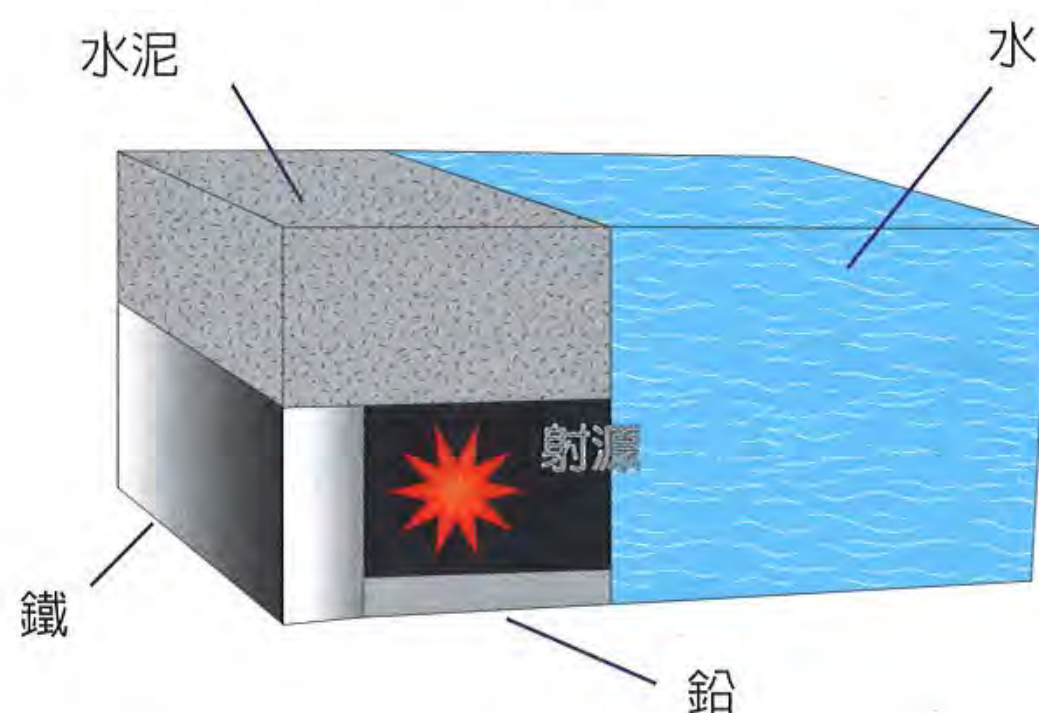


圖 1.9 具等值屏蔽加馬射線能力之各種材料厚度比較

(七)輻射如何與物質起作用？

輻射撞到物質時，與物質產生游離或激發的反應，把輻射本身的能量轉移給物質。圖 1.10 解釋一個原子被輻射游離和激發的過程。

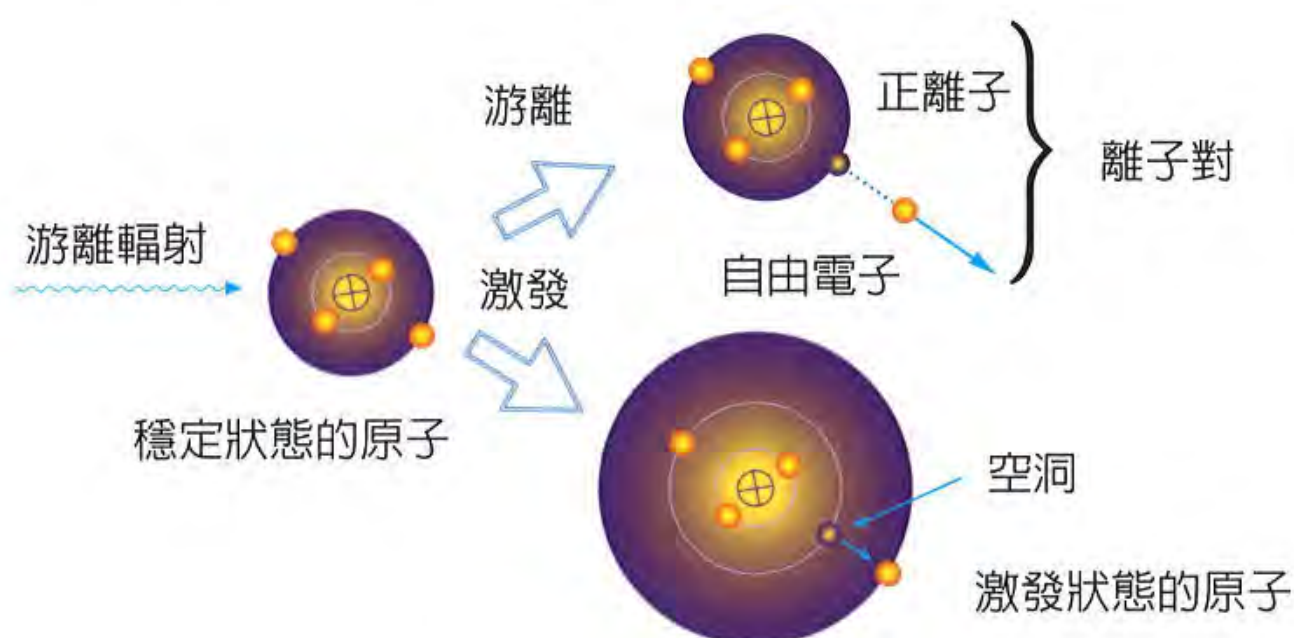


圖 1.10 原子的游離與激發

阿伐射線很容易產生游離作用將能量傳給物質，因此穿透力很弱。相反地，X與 γ 射線則不易將能量傳給物質，所以穿透力很強(如圖 1.8)。



輻射與健康

(八)工業上常用的輻射源有那些？

工業上為提昇生產品質，安全與效率，常利用 ^{60}Co ， ^{90}Sr ， ^{137}Cs ， ^{192}Ir 等輻射源從事照射處理(醫療器材消毒滅菌)，輻射計測儀(液位計、測厚計等)，及非破壞檢驗之用。

工業上常用的輻射源及其半衰期

用途	放射核種	半衰期
輻射照射處理 (消毒、滅菌)	^{60}Co	5.3y
	^{137}Cs	30.0y
輻射計測儀(厚度計、液位計、密度計等)	^{60}Co	5.3y
	^{90}Sr	28.1y
	^{137}Cs	30.0y
	^{192}Ir	73.8d
非破壞檢驗	^{60}Co	5.3y
	^{192}Ir	73.8d

註：y 為年，d 為日

二、輻射的度量與單位

由於輻射線無聲、無色又無味，因此必須利用某些物質能和輻射發生反應，而反應的結果能夠容易地被測量出來，人們就是利用這種間接方法來度量輻射。常用方法有下列六種：

- 1.使照相底片感光
- 2.使氣體或半導體游離產生帶電荷的離子對
- 3.使液體或晶體直接產生光
- 4.晶體接受輻射後產生「熱發光」現象(即俗稱 TLD)
- 5.產生熱
- 6.產生氧化還原反應

圖 2.1 顯示在平行電場內空氣被阿伐射線游離產生正負兩種離子，這些離子被電極板收集後即可在電路上產生信號，這是輻射度量的基本原理。

(一)常用的輻射偵測儀器

針對不同輻射與偵測目的，有許多種常用的偵測儀器，包括人員劑量徽章、輻射劑量筆、手提偵檢器，以及固定型的手足污染偵檢器、環境監測器和全身計測器等，都是為了偵測輻射，達成輻射安全的目的而設計。此外，為配合國內輻射鋼筋快速偵測需求，核能研究所已完成研製並技術移轉民間兩種簡易偵測器，具靈敏、輕巧與耐用的特性。

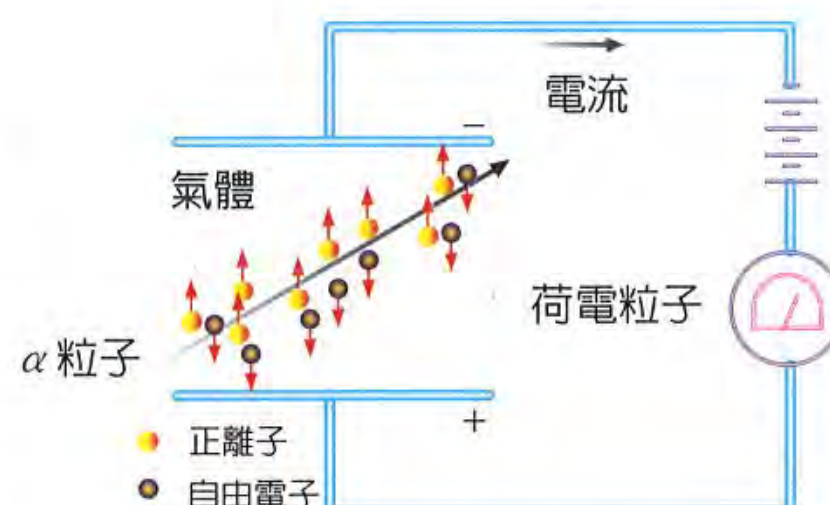


圖 2.1 輻射游離氣體、應用在輻射之偵測

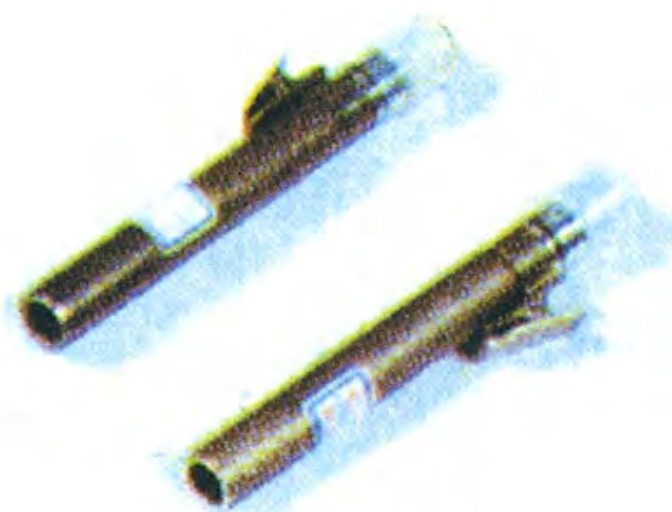


人員輻射劑量徽章

輻射與健康



手提輻射偵檢器



輻射劑量筆



手提污染偵檢器



環境輻射監測器



核能研究所簡易型加馬輻射警報器



核能研究所 SM-99 輻射偵測器

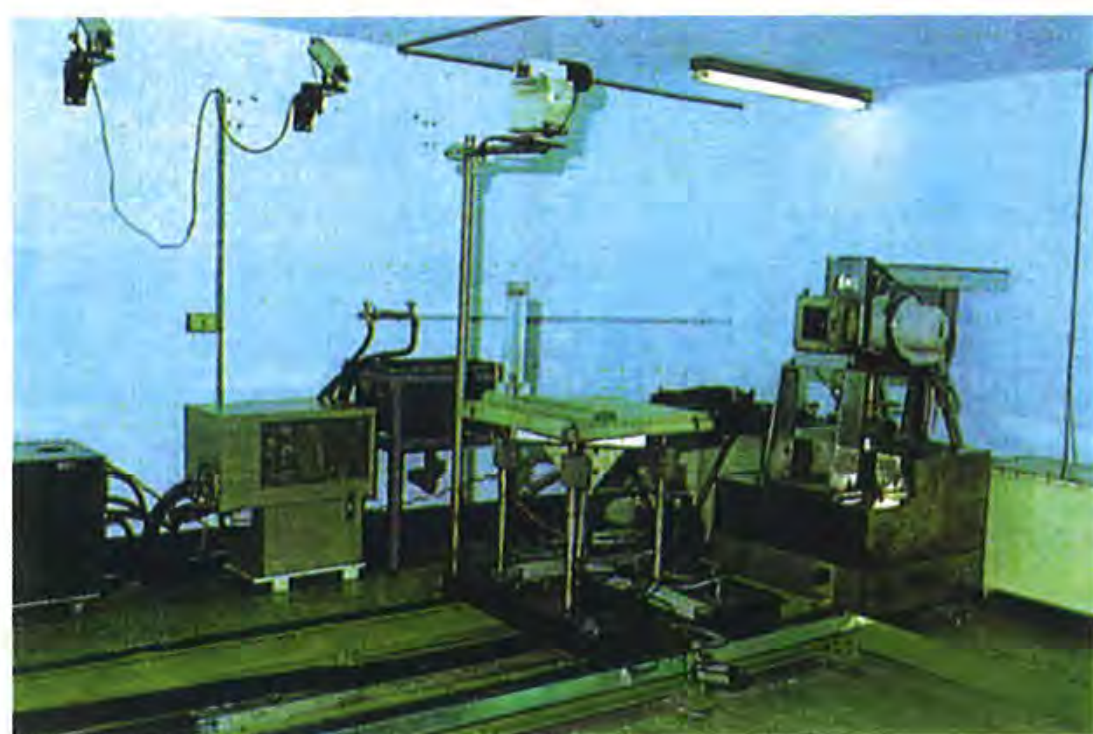
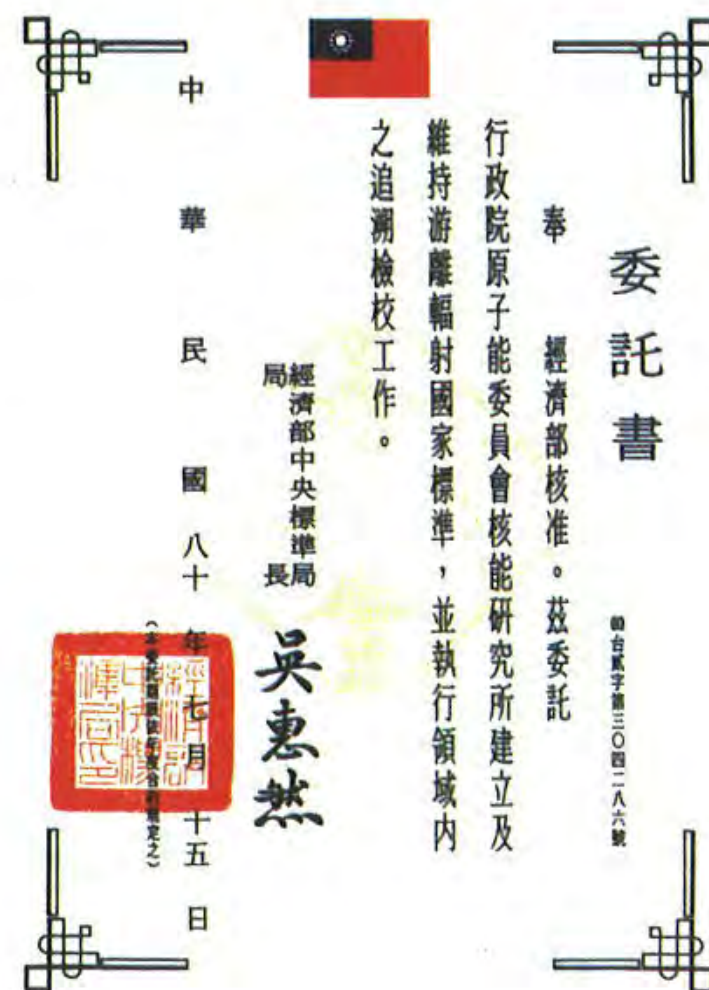
常用的輻射偵測儀器

(二)游離輻射國家標準和實驗室認證體系(CNLA)

爲掌握計測的精準度，各種度量衡都有國家標準，輻射的度量也不例外。我國游離輻射的國家標準已由中央標準局委託原子能委員會核能研究所建立，標準項目計有光子(X射線與 γ 射線)劑量，貝他劑量，中子劑量以及放射性活度等四大類，每年固定與美國、英國、日本的國家標準作相互比對，以維持我國標準的精準性和權威性，並且提供國內輻射標準的追溯和檢校工作。

爲了確保全國輻射度量儀器的品質與正確性，每一部輻射度量儀器每年必須經過輻射二級校驗實驗室的校驗才可使用，而校驗實驗室必須先通過我國中央標準局委託之實驗室認證體系(CNLA)的認證，才能提供校驗的服務。認證所須技術與相關的規範都已由核能研究所建立。

此外，爲了維護輻射作業人員的安全，工作時戴在身上的人員劑量徽章(用以度量工作期間接受的輻射劑量)也須要嚴格的品管與校驗。根據原子能委員會規定，提供人員劑量徽章服務的機構也必須先通過我國實驗室認證體系的認證，保證其測讀的正確與品質。



國家標準之 X 光照射場



國家標準實驗室，加馬照射控制台



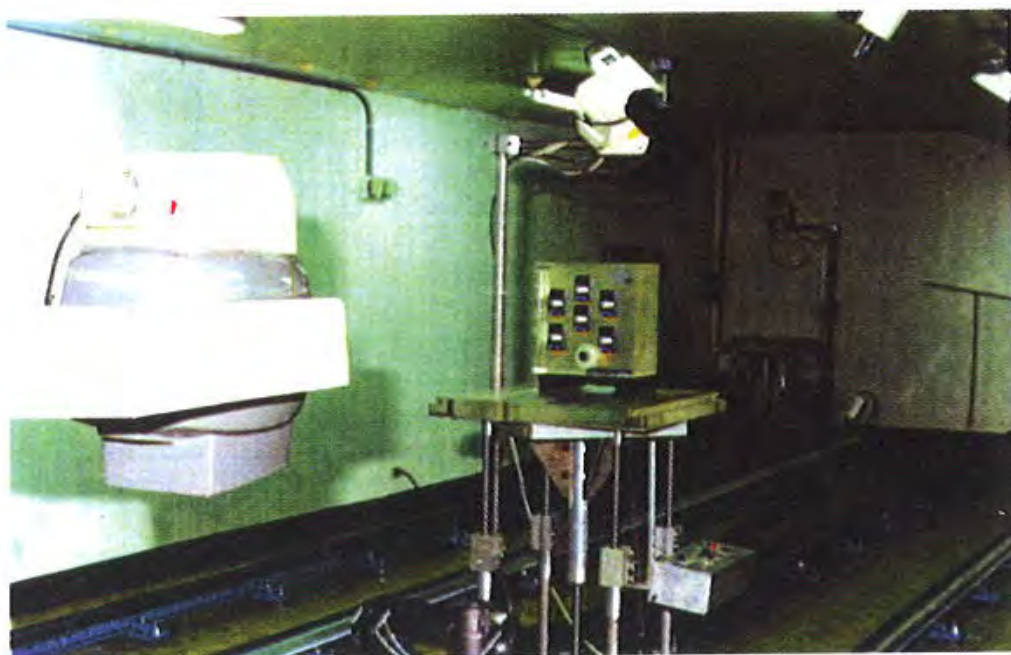
輻射與健康



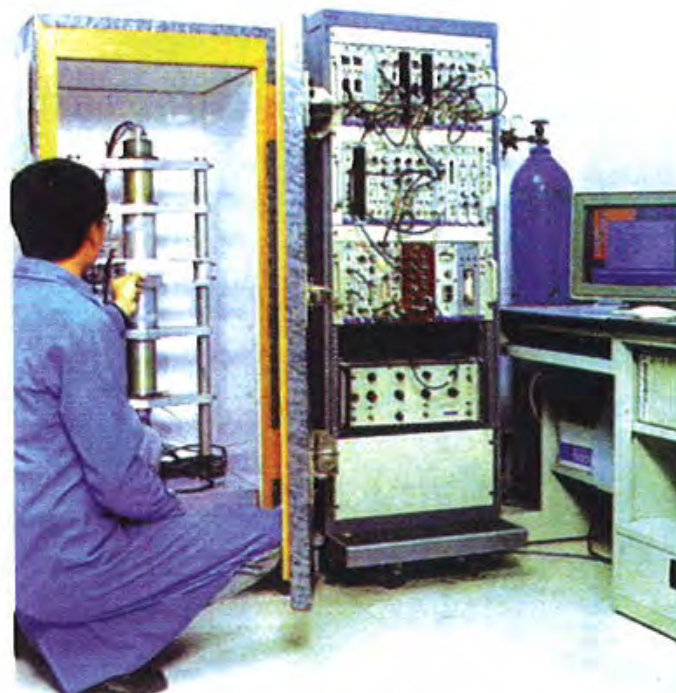
核能研究所自製達國際標準的「自由空氣游離腔」



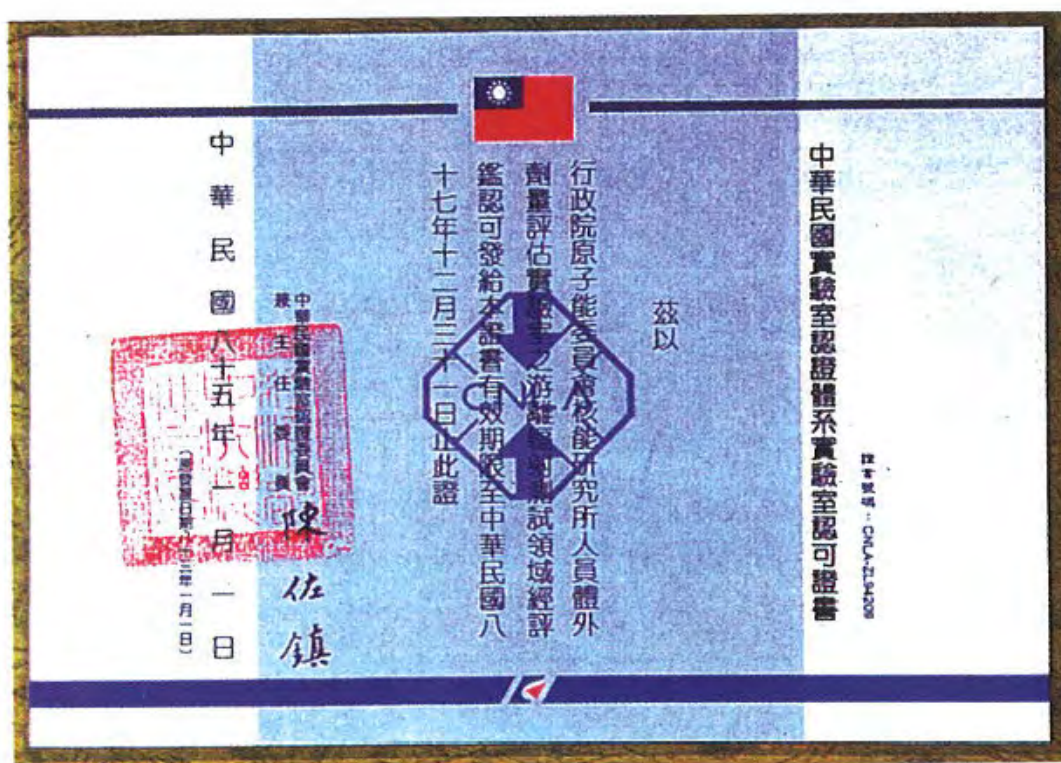
核能研究所自製石墨球型游離腔



進行校驗中的人員劑量佩章



4 π 貝他加馬符合計測系統



人員劑量佩章服務必須通過實驗室認證

輻射計測需通過國家標準校驗與認證

(三)輻射的單位有那些？

輻射的單位分爲放射活度單位和輻射劑量單位兩大類，均由國際輻射單位及度量委員會(ICRU)所頒布，稱作國際系統單位(SI 單位)。以下簡述幾個常用的輻射單位：

1.活度(activity)

一放射性核種於每單位時間內發生自發性蛻變的次數(即蛻變率)，稱它爲活度。活度的單位爲「貝克」(簡寫爲Bq)，它的定義爲

1 貝克(Bq)=1 蛻變 / 秒

因此貝克是用來表示一個輻射源，如⁶⁰Co 的強度(蛻變率)。

2.吸收劑量(absorbed dose)， D

每單位質量的物質平均吸收的輻射能量(焦耳)，稱爲吸收劑量。吸收劑量的單位是「戈雷」(簡寫爲Gy)，它的定義爲

1 戈雷(Gy)=1 焦耳 / 公斤

每小時平均所接受的吸收劑量稱爲吸收劑量率，單位爲戈雷/小時，它的千分之一爲毫戈雷/小時(mGy/h)，百萬分之一爲微戈雷 / 小時(μ Gy/h)。

3.等效劑量(dose equivalent)， Hr

不同種類的輻射(α 、 β 、 γ 、n)照射人體的組織或器官，雖使人體組織有相同的吸收劑量，但卻會造成不同程度的傷害現象。爲此，針對不同種類的輻射訂出射質因數(Q)，代表不同輻射對人體組織造成不同程度的生物





輻射與健康

傷害，它的值列於表2.1。等效劑量即為人體組織的吸收劑量和射質因數的乘積，它已含有輻射對組織器官傷害的意義了。它的單位是「西弗」(簡寫成 Sv)，定義為

$$H_T(\text{西弗})=D(\text{戈雷})\times Q$$

千分之一西弗為毫西弗(mSv)，百萬分之一西弗為微西弗(μ Sv)。我們拍一張胸部X光片，胸部組織大約接受0.1毫西弗劑量。

從射質因數 Q 值也可知， α 粒子雖然穿透力很弱但健康效應卻很大，如把鈾235、鐳226等放射 α 射線的同位素吃進體內，則會對體內組織器官造成較大的傷害。

單位時間內平均所接受的等效劑量稱為等效劑量率，例如毫西弗/年(mSv/y)，微西弗/小時(μ Sv/h)都是等效劑量率的單位。

表 2.1 輻射的射質因數

輻射種類	平均射質因數
X射線、 γ 射線、貝他粒子和電子	1
中子、質子和靜止質量大於1個原子質量單位的單電荷粒子	10
α 粒子及多電荷粒子	20

資料來源：ICRP-26(1977) *

4. 有效等效劑量(effective dose equivalent), H_E

由於人體各組織器官對輻射的敏感度不同，所以雖各接受相同的等效劑量，但是造成健康損失(罹患致死癌或不良遺傳)的風險(機率)卻不同，因此又訂出「組織加權因數(W_T)」來代表各組織器官接受輻射對健康損失的機率(如表2.2)。若把各組織器官的等效劑量(H_T)與其加權因數(W_T)的乘積再加以總和，即成為有效等效劑量(H_E)。 H_E 是評估全身的輻射劑量以及輻射可能產生健康效應的風險，單位也是西弗(Sv)。例如台灣地區的民眾，平均每年接受天然背景輻射劑量(H_E)約2毫西弗(mSv)，與全世界的平均值(2.4mSv)差不多。

表 2.2 組織器官的加權因數(W_T)

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
骨骼表面	0.03	0.01
其餘部分	0.30	0.05

資料來源：ICRP-26(1977)及 ICRP-60(1991)

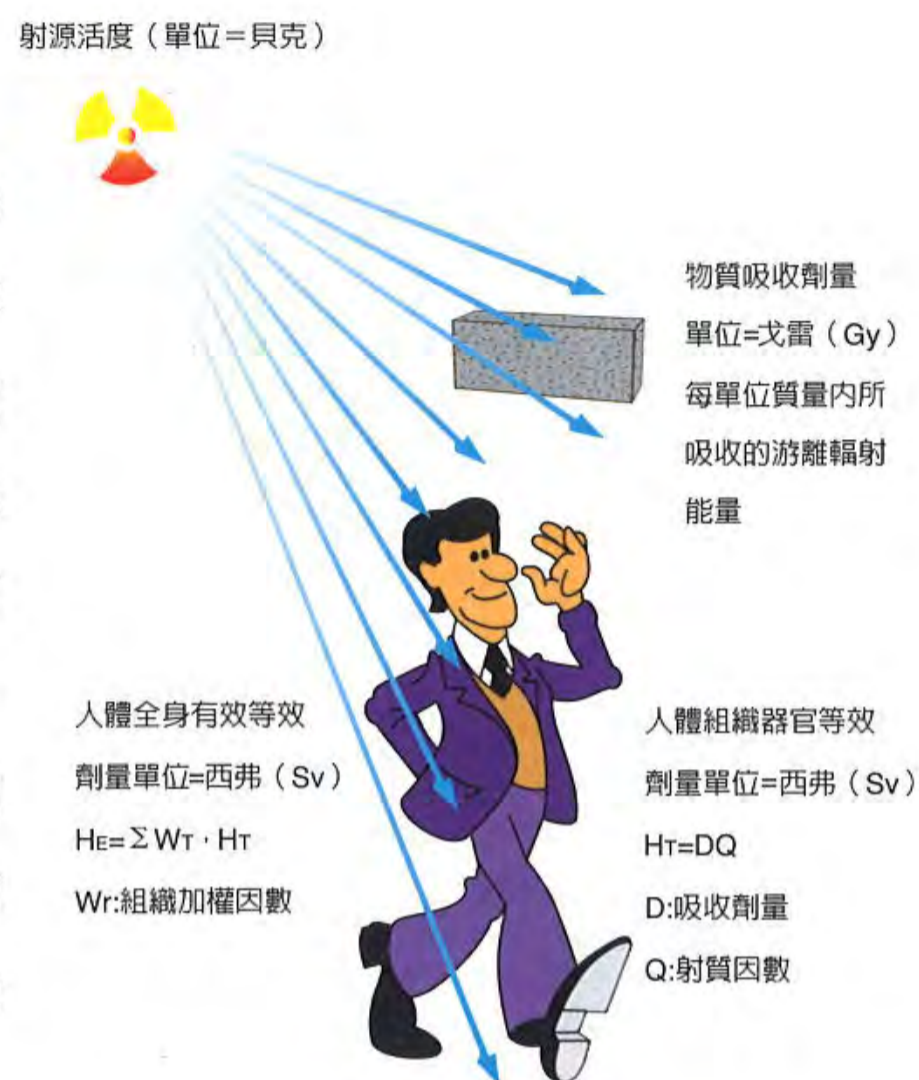


圖 2.2 輻射的單位示意圖

輻射與健康

三、輻射的健康效應

人類自古至今生活在一個充滿輻射的自然環境中，輻射是人類生命的一部分，人體接受輻射的途徑以及正常情況下會接受多少劑量？人體接受多少輻射劑量才會對健康產生效應？這是大家關心的問題。以下將作簡要討論，希望有助於大家的瞭解，澄清心中的疑慮。

(一)人體接受輻射的來源與途徑

人類生活中所接觸的輻射來源有天然的和人造的兩類。而人體接受輻射劑量則經由體外曝露與體內曝露兩大途徑(如圖 3.1)。

1.天然輻射源

天然存在的輻射，例如來自太空的宇宙射線，地殼土壤及建築材料中所含的天然放射性核種(有鈾 235、鈾 238、釷 232 及它們一系列的子核種)，食物中的鉀 40，空氣中的氡 222 和它的子核種等等，從體內、體外使人體接受輻射劑量。圖 3.2 顯示高度上升，宇宙射線也愈強，表 3.1 顯示搭乘國內外飛機每趟往返所接受的宇宙射線劑量。圖 3.3 則顯示美國民眾接受各種劑量的來源百分比，其中空氣中氡 222 造成體內劑量的比率最高(佔 55% 左右)。表 3.2 顯示台灣地區民眾平均一年接受天然輻射劑量約 2 毫西弗左右，稍低於世界的平均值(2.4 毫西弗)。

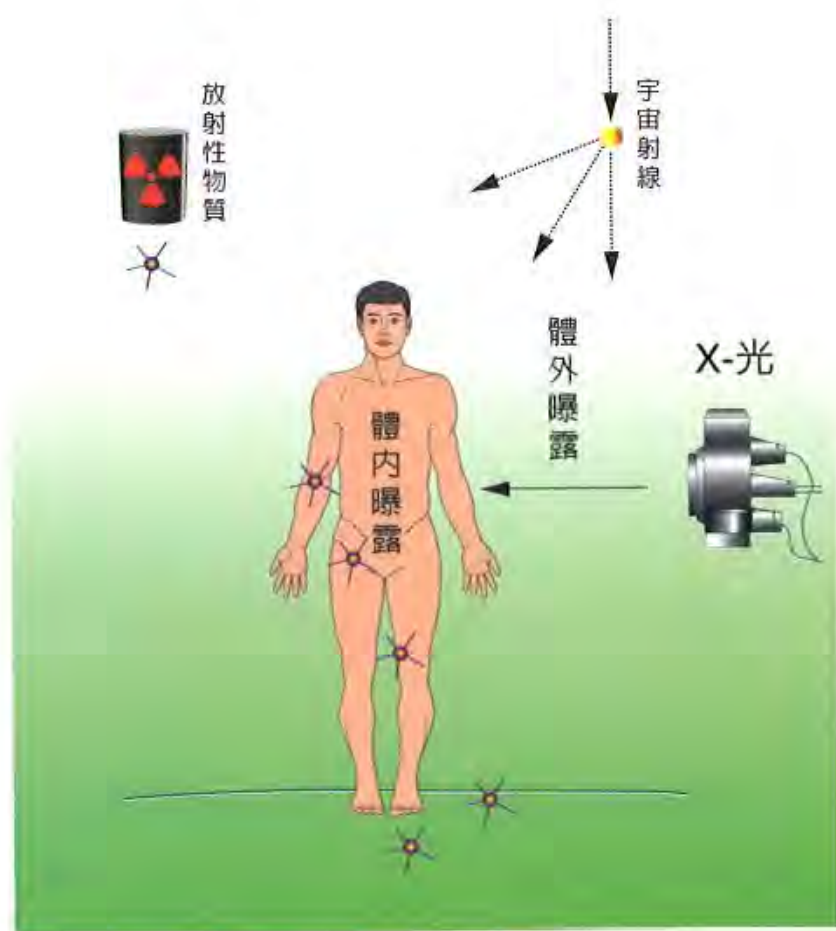


圖 3.1 輻射體外曝露與體內曝露

世界上有數個天然輻射比較高的地區，流行病學調查其致癌率與一般地區並無任何差異，列於表 3.3 供大家參考。

2. 人造輻射源

人為因素產生的輻射，例如醫療診斷、使用含放射性之民生用品、核爆落塵、核能發電等屬之。其中以醫療診斷（照一次胸腔 X 光的劑量約 50~150 微西弗之間）為人造輻射的主要來源（佔 15%），大家關心的核能發電，每年所造成的輻射劑量比例還不及 0.1%。

表 3.1 國內外航線旅客所受宇宙射線劑量

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

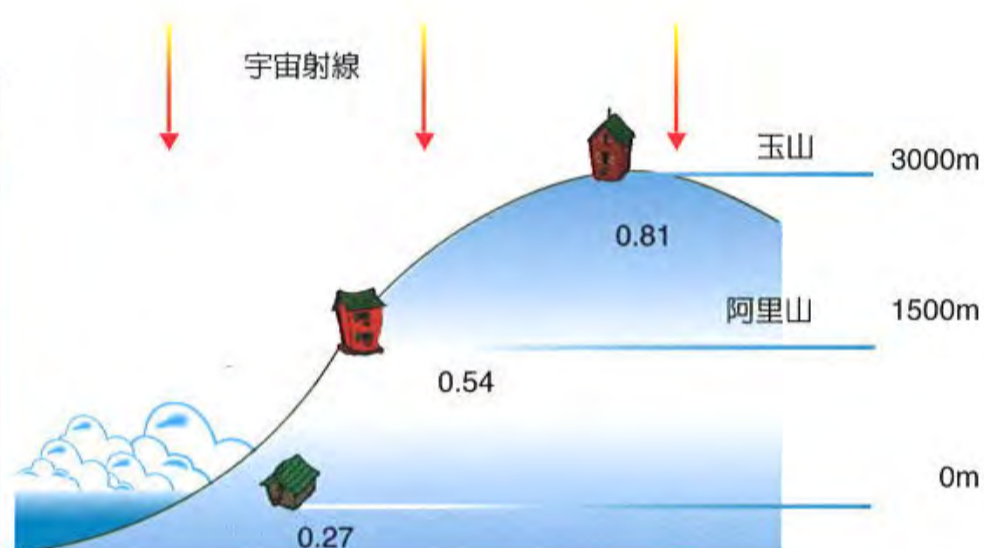


圖 3.2 台灣地區宇宙射線強度與高度之關係
(毫西弗/年)

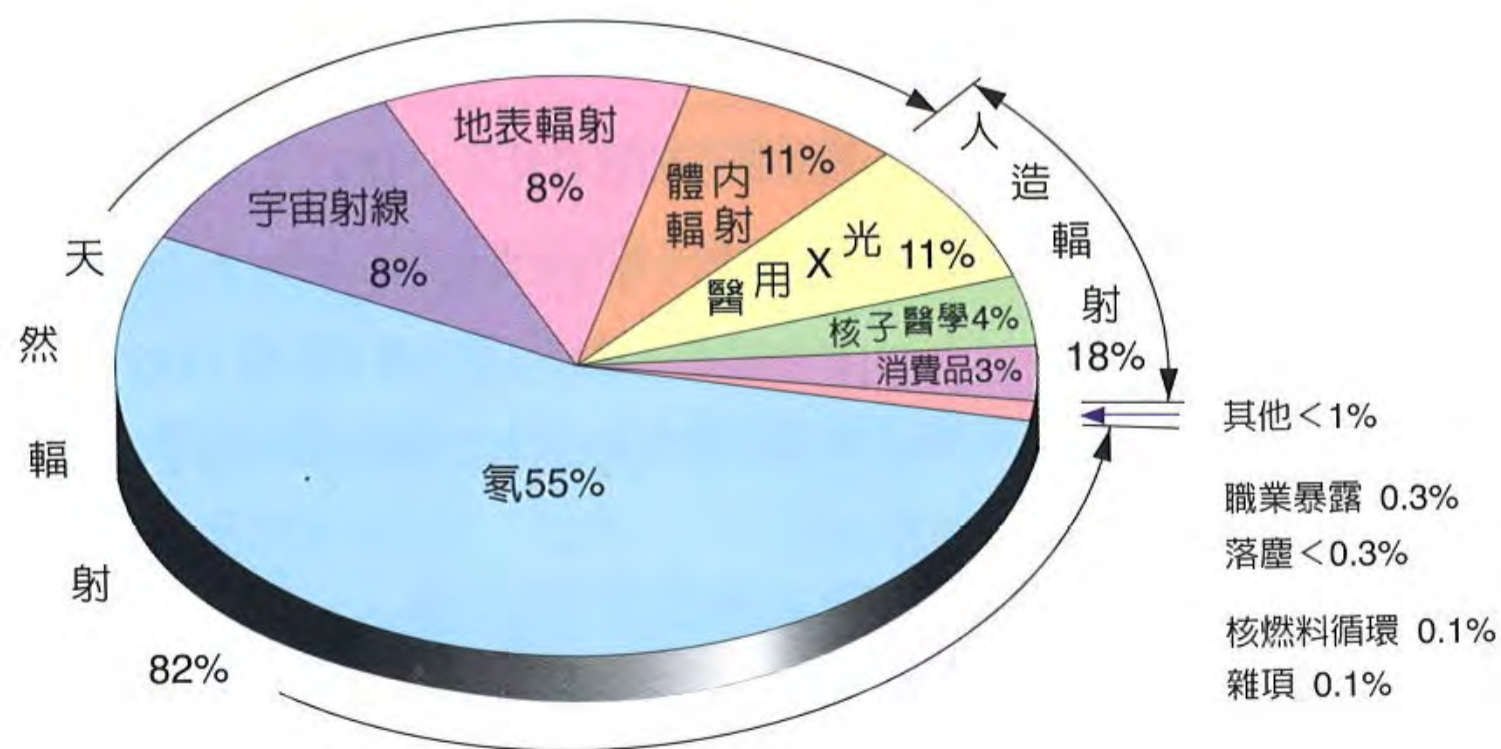


圖 3.3 美國民眾接受天然輻射與人造輻射比例圖

輻射與健康

表 3.2 各國天然輻射劑量評估值的比較 單位：毫西弗/年

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
氡 等	1.26	2.0	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	2.4	3.0	1.7	2.0

UNSCEAR：聯合國原子輻射效應科學委員會(1993)

表 3.3 世界高輻射背景地區與劑量率

地區或國家名稱	年劑量(毫西弗)	倍數(4)	說明
伊朗 Ramsar 市(1)	6 至 360	3 至 180	此等地區民 眾癌症發生 率與一般地 區無明顯差 異。
印度 Kerala 區十個村 莊(2)	平均 13	6.5	
巴西 Espirito Santo(3)	0.9 至 35	17.5	區無明顯差 異。
大陸福建鬼頭山區(3)	平均 3.8 最高 120	1.9 60	

資料來源：(1)國際原子能總署簡訊，1991 年第 33 卷第 2 期。
 (2)聯合國原子輻射效應科學委員會 1962 及 1992 年報告。
 (3)聯合國原子輻射效應科學委員會 1992 年報告。
 (4)台灣地區平均自然背景輻射年劑量 2 毫西弗的倍數。

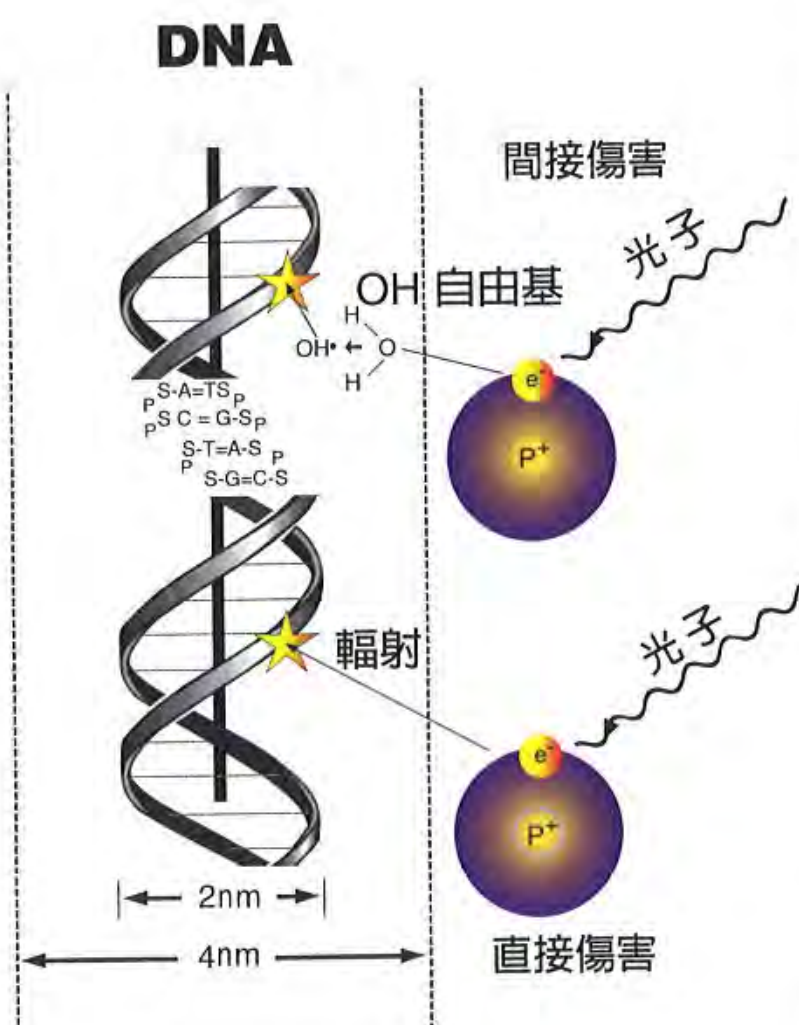


圖 3.4 游離輻射對細胞 DNA 的直接與間接傷害

(二) 輻射健康效應的發展過程

人體接受輻射能量時細胞和水分子會首先被游離或激發，造成 DNA 雙鏈全斷或只斷單鏈的傷害(直接傷害)，同時水佔人

體約 70% 重量，水分子被游離後產生有害的 OH 自由基，這些自由基接續產生一連串化學反應使得細胞分子受損傷(間接傷害)，如圖 3.4，3.5 所示。所幸細胞有自行修復的能力恢復正常。若細胞嚴重受損無法修復或修復錯誤時，則其後果將顯現出身體健康受到影響的症狀。

圖3.5說明輻射健康效應的發展過程，由其中可以看出，接受高劑量或低劑量，將造成不同的健康效應。

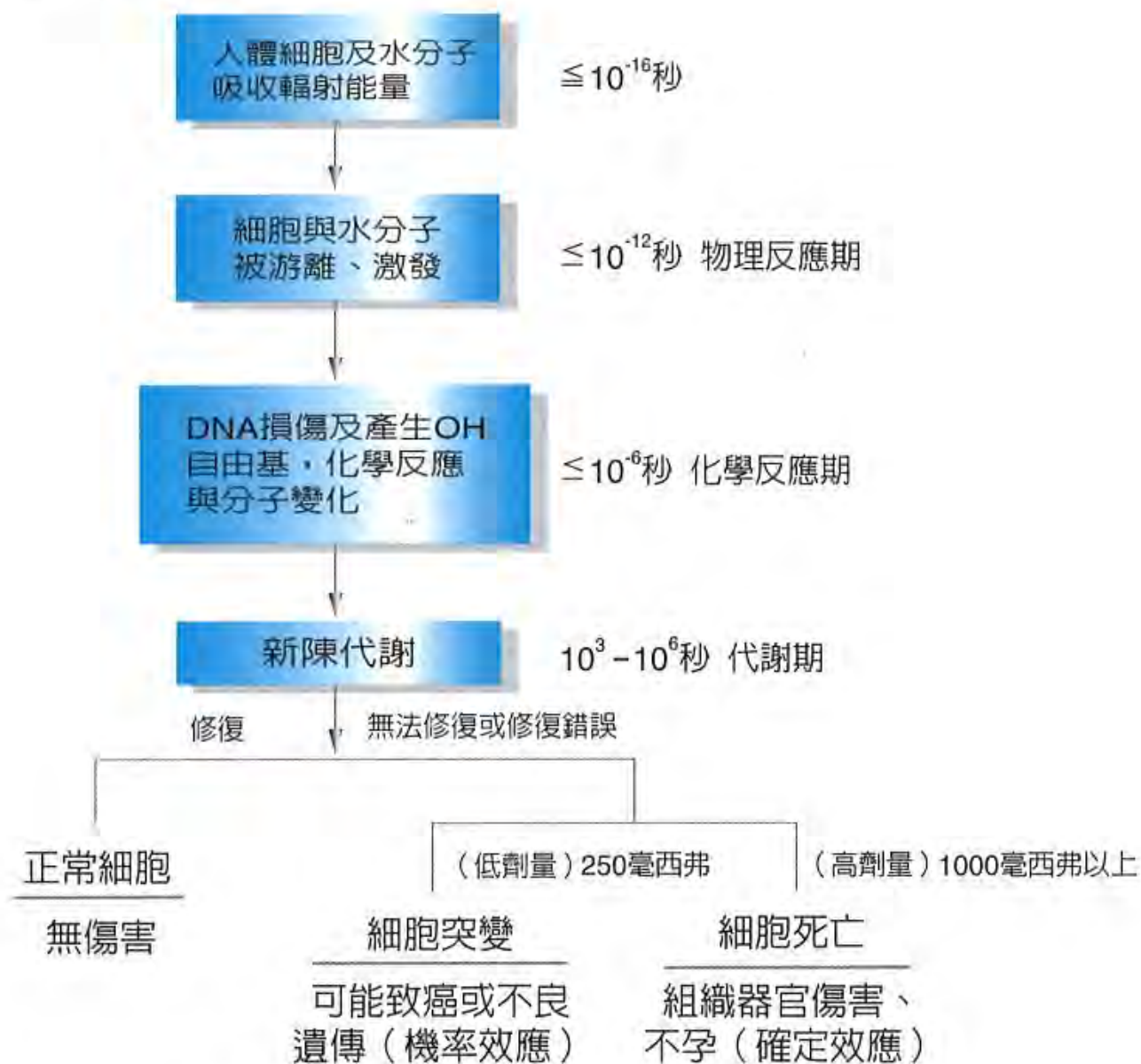


圖 3.5 輻射對人體健康效應之發展過程

(三)輻射會造成那些健康效應？

輻射對人體的健康效應，通常分為機率效應和確定效應兩大類。當人體接受劑量超過某一程度（一次 1000 毫西弗）以上時，因為許多細胞死亡或無法修復，因而產生疲倦、噁心、嘔吐、皮膚紅斑、脫髮、血液中淋巴球顯著減少等症狀，當接受劑量更高時，症狀的嚴重程度加大，甚至死亡，這種情況稱為

輻射與健康

確定效應。超過一定程度以上之劑量才會產生確定效應，否則稱為低限劑量。只要小於低限劑量就不會產生確定效應。

從日本核爆生存者的長期調查顯示，接受低輻射劑量(約250毫西弗以下)者，並無任何臨床症狀，白血病或其他實體癌的發生率也和一般人相同並未增加。但是為了輻射安全起見，國際放射防護委員會(ICRP)做了很保守又很重要的假設：人體只要接受到輻射，不管劑量是多少，都有引發癌症和不良遺傳的機率存在，沒有低限劑量值，而且致癌或不良遺傳的機率與接受劑量成正比(直線關係)，劑量愈高，機率也愈大，這種現象稱為機率效應。

圖3.6說明確定效應、機率效應兩者和劑量的關係，也顯示確定效應有低限劑量，而機率效應則假設無低限劑量。

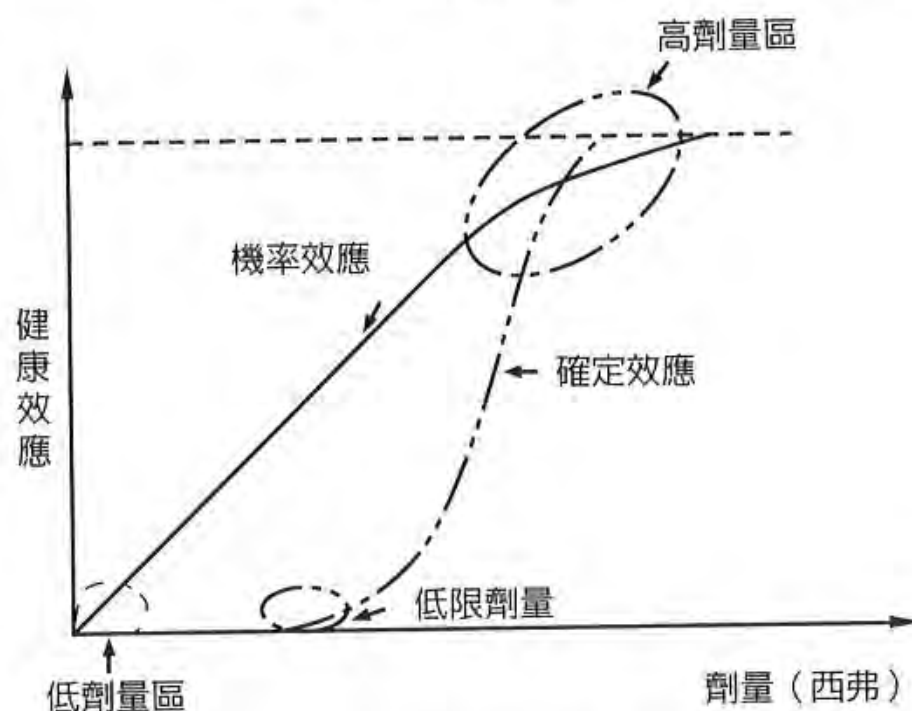


圖 3.6 輻射效應的低限和無低限的關係

另外，從臨床的觀點區分輻射健康效應，首先從發生對象而言，健康效應發生在輻射接受者本人身上的，稱為輻射軀體效應，若發生在輻射接受者的後代子孫身上的，稱為輻射遺傳效應。從發生效應的快慢而言，則分為急性效應和慢性效應。我們把這麼多的效應名稱綜合列在表3.4上以幫助大家對輻射健康效應的瞭解。

表 3.4 輻射健康效應的分類

軀體效應 (參考表 3.6 及 3.7)	急性效應	皮膚發生紅斑 骨髓、肺、消化道傷害 白血球減少 不孕 噁心、嘔吐、腹瀉	確定效應
	慢性效應	白內障 胎兒之影響等	
遺傳效應 (參考表 3.12)		白血病 癌症	機率效應
	遺傳基因突變或染色體變異所發生的各種疾病		

(四)輻射的確定效應

考慮輻射的傷害時，要考量：1.劑量的高低；2.受曝露的位置；3.急性或慢性曝露等三個條件。因為人體組織器官對輻射的敏感度不同，表3.5中顯示有些器官較易受傷害有些則否。根據廣島、長崎的流行病學調查，若是全身均勻受到急性曝露超過250毫西弗以上就開始顯現受傷害的症狀(如表 3.6 所示)，劑量愈高，傷害的嚴重程度愈大，甚至死亡。

表 3.5 組織器官對輻射傷害(確定效應)的敏感度比較

敏感度	組織器官名稱
高	胎兒、淋巴組織、生殖腺、骨髓、脾臟
稍高	皮膚、水晶體、消化道
中等	肝臟、血管
低	肌肉、骨骼、神經

資料來源：ICRP26(1977)，ICRP60(1991)



輻射與健康

表 3.6 急性全身曝露之確定效應症狀

一次劑量 (毫西弗)	確定效應之症狀
250 以下	無可察覺症狀。可能引起血液中淋巴球的染色體變異。
250-1,000	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。
1,000-2,000	有疲倦、噁心、嘔吐現象，血液中淋巴球及白血球減少後恢復緩慢。
2,000-4,000	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。
4,000-6,000	與前者相似，但症狀顯示的較快，在2-6週內死亡率為 50%。
6,000 以上	若無適當醫護，死亡率為 100%。

資料來源：ICRP、BEIR 報告

通常人體局部受曝露後的症狀易於侷限在受曝露的部位，而且一般情況下局部曝露造成的傷害比全身曝露為輕。表3.7顯示組織器官受到急性或慢性局部曝露造成傷害所須的低限劑量。從表中瞭解輻射的確定效應包括暫時或永久不孕，視力受損，造血障礙、畸形、皮膚和甲狀腺的種種症狀等。

由於輻射作業人員必須遵守嚴格的防護措施，因此和一般民衆一樣，工作人員每年接受的輻射劑量非常低微，極少可能發生確定效應的傷害，一般民衆遭受高劑量而發生確定效應傷害的可能性就更微乎其微了。

(五)輻射的致癌性

自從X射線和天然放射性被發現之後，輻射即被廣泛應用於科學和醫學上。早期因對輻射的知識和安全還不很瞭解，以致有一些工作人員罹患白血病或皮膚癌，後來人們注意到輻射

表 3.7 不同曝露部位引發確定效應之低限劑量值

組織與效應	低 限 劑 量	
	急性(一次)曝露 (毫西弗)	慢性(每年)曝露 (毫西弗/年)
睪丸		
暫時不孕	150	400
永久不孕	3,500~6,500	2,000
卵巢		
不孕	2,500~6,000	200 以上
水晶體		
混濁	500~2,000	100 以上
白內障	5,000	150 以上
骨髓		
造血障礙	500	400 以上
發育不全	1,500	1000 以上
胚胎與胎兒		
畸形	100	
皮膚		
紅斑症	3,000-5,000	
乾性脫皮	3,000~5,000	
濕性脫皮	20,000	
皮膚壞死	50,000	
甲狀腺		
功能降低	25,000~30,000 小孩 1,000~10,000	
急性發炎	大於 200,000 以上	

資料來源：ICRP41(1984)，ICRP60(1991)

與致癌的關係，同時又發現鈾礦工人因長期吸入高濃度的氡²²²造成罹患肺癌的機率高於正常人，輻射會增加致癌率的事實才被確認。

如今流行病學專家分別從廣島、長崎、馬歇爾群島居民，核武試爆之軍事觀察員，接受輻射醫治的病人，輻射工作人員，高天然背景地區居民，遭受核子事故的人員等數十萬人中做長期的追蹤調查，以探討輻射與致癌機率的相關性。



輻射與健康

1. 低輻射劑量致癌的機率

低輻射劑量致癌是機率效應，接受輻射將使致癌的機率增加，但並非人人一定會致癌。根據國際放射防護委員會(ICRP)60號報告的評估，每一萬人每人都接受1000毫西弗全身劑量(相當於接受500年天然背景輻射)，可能增加癌症死亡人數為500人，即致癌死亡率為每1000毫西弗增加5%。但是，自然情況下人類各種死亡原因中癌症佔了20-30%(衛生署公布台灣地區84年因癌症死亡佔總死亡數的21.9%)，而且要讓每人接受如此高的劑量也誠非易事。因此，日常生活中接受天然輻射劑量致癌死亡的機率非常低。

2. 輻射致癌的潛伏期

從人體器官接受輻射曝露，經過複雜的變化到臨床癌症顯現，需要一段長時間，這段時間就是所謂的潛伏期。各類癌症的潛伏期不盡相同，從日本流行病學的調查(表3.8示)，例如白血病最短，平均潛伏期約10年，其他實體腫瘤癌症的潛伏期都較長。

表 3.8 輻射致癌的潛伏期(年)

癌種類	最小年限	平均期	最長年限
白血病	2-4	10	25-30
甲狀腺癌	5-10	20	>40
乳癌	5-15	23	>40
骨癌	2-4	15	25-30
其他非造血組織癌	10	20-30	>40

資料來源：BEIR 報告

3.人體組織器官的輻射致癌敏感度

根據流行病學調查顯示，人體器官輻射致癌的敏感度確有差異，表 3.9 顯示人體各組織器官接受 1000 毫西弗劑量引發致死癌機率的評估值，由大到小排列，人口群分全部人口(包含小孩與老人)和成年工人(18 歲至 65 歲)兩組。很顯然從表中可以看出，胃、肺、結腸和紅骨髓四個器官對輻射致癌性較為敏感，而甲狀腺、骨表面、皮膚則較不敏感。表 3.10 顯示輻射致癌和不良遺傳的機率。致癌和不良遺傳機率之總和，即表示輻射引發機率效應的危險度。

4.各種職業危險度比較

人們從事各種職業都有生命損失的危險度存在，根據美國 1991 年的統計，各種職業的危險度示於表 3.11。由表中之統計值可以看出，輻射工作人員按規範行事，則其職業危險度相當於服務業，屬比較安全的職業。

表 3.9 人體組織器官輻射致癌的機率

組織器官	致死癌機率($10^{-2}/Sv$)	
	全部人口	成年工人
胃	1.10	0.88
肺	0.85	0.68
結腸	0.85	0.68
紅骨髓	0.50	0.40
膀胱	0.30	0.24
食道	0.30	0.24
乳腺	0.20	0.16
肝臟	0.15	0.12
卵巢	0.10	0.08
甲狀腺	0.08	0.06
骨表面	0.05	0.04
皮膚	0.02	0.02
其他	0.50	0.40
合計	5.00	4.00

資料來源：ICRP60(1991)



輻射與健康

表 3.10 輻射機率效應的危險度評估值

人 群	機 率 效 應 ($10^{-2}/Sv$)			總計 (危險度)
	致死癌	非致死癌	不良遺傳	
成年工人	4.0	0.8	0.8	5.6
全部人口	5.0	1.0	1.3	7.3

資料來源：ICRP60(1991)

表 3.11 各種職業危險程度比較

職 業 分 類	每十萬人年死亡數 (意外事故)
服務業、全部私人機構、輻射工作者	0-3*
財政、保險、房地產、大盤與零售商	6-7
製造業、運輸業	23-24
建築、農業、森林、漁業	33-35
礦業	61
熔煉工人	190
地下礦工	~1300

資料來源：NUREG-1437(1991)

*：輻射工作者的危險度在此範圍內。

(六)輻射的遺傳影響

1927年科學家在果蠅研究中，首次發現輻射誘發遺傳效應。之後，從動物和植物實驗得知，輻射會傷害生殖細胞進而誘發突變(包括基因突變和染色體變異)，導致遺傳疾病發生率增高，對後代子孫造成不利的影響。至於對人類的研究，則針對三個族群的後代做了長期的流行病學調查(項目如表3.12)，結果顯示遺傳疾病的發生率並未增加，因此，人類是否會因輻射而誘發遺傳效應尚未被確認。然而必須注意的是，輻射的遺傳效應僅發生於胎兒或具有生育能力的個人，其生殖腺接受某種程度以上的劑量才會發生。換言之，在非生殖腺的部位接受高劑量，也不太可能發生遺傳效應。



表 3.12 輻射遺傳效應的流行病學調查項目

調查對象	調查項目
廣島、長崎核爆之第二代(日本)	流產、早產、死產、畸形、嬰兒死亡、性別比、染色體變異、遺傳基因突變(細胞、DNA)、癌症發生率、死亡率
高天然輻射區之子女(印度、中國)	唐氏症、畸形、死產、性別比、嚴重精神異常
放射科醫師之後代(英、美)	性別比

與天然致癌率相似，人類自然發生遺傳疾病的種類和發生率亦不低。根據美國游離輻射生物效應第五號報告(BEIR V, 1990)所作的評估，每百萬人均接受 10 毫西弗(相當於 5 年天然背景輻射)的遺傳效應將增加 50 個額外的案例，但這評估值相較於數十萬個自然遺傳疾病發生率而言，實在太小了。表 3.13 即取 BEIR V 報告的統計數字。



輻射與健康

表 3.13 自然發生與輻射誘發遺傳疾病之評估比較

遺傳疾病分類	自然發生率 (每百萬新生兒)	每代每 10 毫西弗之額外案例*	
		第一代	世代平衡
顯性染色體			
臨床嚴重的	2,500	5 ~ 20	25
臨床輕微的	7,500	1 ~ 15	75
X 性連隱性	400	<1	<5
隱性染色體	2,500	<1	非常緩慢增加
染色體			
不平衡轉接	600	5	非常少量增加
一套半染色體	3,800	<1	
先天性異常	20,000 ~ 30,000	10	10-100
其他複雜病原			不予評估
心臟疾病	600,000		
癌症	300,000		
其他	300,000		

資料來源：BEIR V 報告(1990)

*：額外案例之評估值均以每百萬新生兒為基礎



(七)低輻射劑量的正面健康效應

1993年聯合國原子輻射效應科學委員會(簡稱UNSCEAR)定義200毫西弗以下為低劑量。在這個劑量水平之下，全世界長期的流行病學調查仍未找出具體有害的輻射傷害證據。因此，低輻射劑量是否對健康有不利的影響，一直是大家關切的問題。美國保健物理學會(全世界6,800位專家學者組成)曾於1996年3月發表立場聲明稱：接受輻射劑量每年低於50毫西弗，或終生除了自然背景輻射劑量之外，接受低於100毫西弗劑量，並無明顯的健康(致癌)效應發生。

1982年美國Luckey教授提出低劑量對人體健康有益的調查結果。1986年日本Kondo(近藤宗平)教授從廣島、長崎的追蹤調查亦發現低輻射劑量致癌機率較正常人低的現象。他們稱這個現象為激效(hormesis)。此外，經過長期對美國核子潛艇工作人員，加拿大接受乳癌X光攝影患者以及匹茲堡大學住戶氡氣效應研究等，所進行低輻射劑量的流行病學調查，結果也都顯示出低輻射劑量具有正面的健康效應，能減少輻射致癌的機率。但是，UNSCEAR在1994年報告「低輻射劑量的生物效應」一書中抱持的態度認為，雖然已知接受高劑量(250毫西弗以上)會增加致癌的機率，而低劑量卻顯示相反的現象，然而輻射有益的證據還不夠多，因此仍然必須沿用ICRP保守的假設：輻射的致癌增加率與接受劑量成線性正比例，無低限劑量關係。

低輻射劑量的健康效應是正面還是負面，至今仍未清楚定論，尚需人類長期的研究與探討。



四、輻射的防護

輻射防護的目的是提供適當的防護標準和建議，使人們在利用輻射所帶來的益處時也要考慮到輻射的安全、經濟和社會的接納性，換句話說，要把輻射應用的效益、風險和經濟三方面取得最佳的平衡。

(一)輻射防護的原則

爲了防止輻射確定效應的發生，同時也要抑低機率效應的發生率到民衆能接受的程度，所以從事輻射作業必須符合以下三原則：

1. 利用輻射所獲得的效益必須超過它的代價。
2. 在考慮到經濟與社會因素之後，一切輻射曝露必須保持合理抑低。
3. 輻射作業人員與一般民衆接受輻射劑量均不得超過法規的限制。

(二)輻射劑量的限度

根據我國游離輻射防護安全標準(民國 80 年 7 月 10 日行政院發布)，輻射作業人員和一般民衆每年接受輻射劑量的限度，列於表 4.1。除眼球水晶體外，一般民衆的全身劑量限度，是職業人員的十分之一。

表 4.1 我國輻射劑量年限度

目的	組織器官	劑量限度(毫西弗/年)	
		輻射職業人員	一般民衆
抑低機率效應 至可接受水平	全身	50	5
防止確定效應 發生	個別組織或器官	500	50
	眼球水晶體	▲ 150	50

(三)輻射防護的方法

1.體外曝露的防護

時間、距離、屏蔽是體外曝露防護的三法則：

- (1)時間：接受曝露的時間要儘可能縮短，所以事先要瞭解狀況並做好準備，熟練操作程序。
- (2)距離：要遠離射源，輻射的強度與距離的平方成反比關係，距離加倍，輻射強度減弱四倍。
- (3)屏蔽：利用鉛板、鋼板或水泥牆可擋住輻射或減低輻射強度，保護人員的安全。



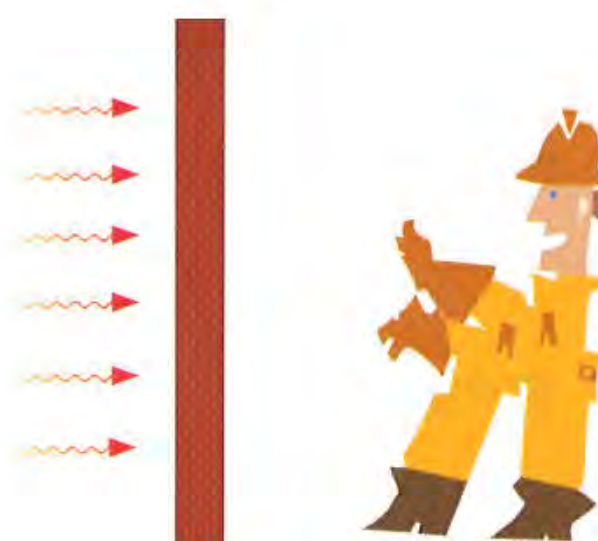
時間



距離

2.體內曝露的防護

放射性物質侵入體內的途徑有：飲食、呼吸、皮膚吸收、傷口侵入。因此，體內曝露的防護方法就是避免食入、減少吸入、增加排泄、避免在污染地區逗留。此外還要加強除污的工作，也能減少體內污染的機會。



屏蔽

輻射進入體內的途徑



輻射防護三原則



輻射與健康

五、我們所關心的輻安問題



近年我們從新聞媒體上知道國內外發生一些和輻射安全有關的事件，引起國際社會的熱烈討論和關心。讓我們從輻射引發健康效應這個角度來看看這些事件的真相。

(一)美國三哩島核能電廠事故

1979年(民國68年)3月28日美國賓州三哩島核能電廠，因為部份設計疏忽、機器故障及人為

疏失，造成爐心熔毀事件。由於核電廠有圍阻體的保護，只有極少量的放射性氣體排出廠外。事故時排出的放射性氣體配合當時氣象，經仔細評估後確認整個事件造成民衆最大個人劑量為0.85毫西弗(僅少數民衆)，電廠周圍80公里範圍內，平均每個人接受0.015毫西弗劑量。在國際核能事故分級上列為第五級事故。

針對此事件，美國的總統委員會和核能管制委員會(NRC)的評估結果都確認未造成任何健康效應。

(二)前蘇聯車諾比核能電廠事故

1986年4月26日凌晨位於烏克蘭共和國北方，靠近俄羅斯和白俄羅斯邊界的車諾比核能電廠發生氣爆，繼而引發石墨燃燒大火。由於核電廠沒有圍阻體保護(這一點和西方國家所設計的核能電廠不同)，大量放射性物質衝上高空隨風飄散，擴及東歐、西歐和北歐廣大地區，造成歐洲各國遭受輻射污染。在國際核能事故分級上列為第七級事故(最嚴重)。

1.初期死亡與受傷人數

由於有爆炸、大火及強輻射外釋，因此根據國際原子能總署的報告(IAEA, 1996)，事故之初，由於受命處理現場和搶救任務，總共134人接受高輻射劑量而診斷出有輻射症候群。

事故後3個月共28位因高劑量及3位其他原因死亡，死亡人士包含核電廠員工、救火員及緊急搶救人員，並無民衆在內。十年來(到1995年底止)，又有14位因高劑量而死亡。總共死亡人數是45位。

2.長期的輻射健康效應

至今核電廠半徑30公里範圍總共13萬5千人仍被撒離家園，總共3萬1千平方公里面積的土地受到 ^{137}Cs 的高污染。目前仍約有710萬居民住在這些污染區和管制區內，預估未來85年內因輻射致癌的總數約增加6600人。然而一般自然致癌數大約會有870,000人，因此極難分辨何者的致癌原因是源自輻射曝露。

留住在污染區的居民和大約20萬名當初的清理工人，有傳出罹患實體癌增加的報告，但尚缺乏證實，須要再繼續觀察。

3.甲狀腺癌

至1995年底為止，總共有800個兒童甲狀腺癌病例，且都在15歲之前就被診斷出來。到1996年4月已有3名兒童因甲狀腺癌死亡。據IAEA報告指稱，於1986年發生事故當時是小孩者，自今起在未來10年之間，非常有可能增加甲狀腺癌的罹患率，因此要求這批人要密切偵檢，因為早期發現並及早治療，患者的存活率非常高。

4.其他與健康相關的因素

除了甲狀腺癌病例明顯增加外，至今仍未發現白血病或其他實體癌病例增加的報告。這與日本廣島、長崎調查發現白血病在核炸後數年內即明顯增加的結果不相同。



輻射與健康

居民中已廣為擴散的焦慮、鬱卒情緒和精神壓力而導致的身心不適症狀，已很明顯可見。這些由非輻射引起的健康效應，可能是車諾比事故最重大的後遺症。同時，居民心理上的衝擊也無法和蘇聯政體的瓦解完全區隔，因此對未來的任何預測都必須和經濟條件、社會情況、政治環境同時加以考慮。

(三) 國內核能電廠的安全性

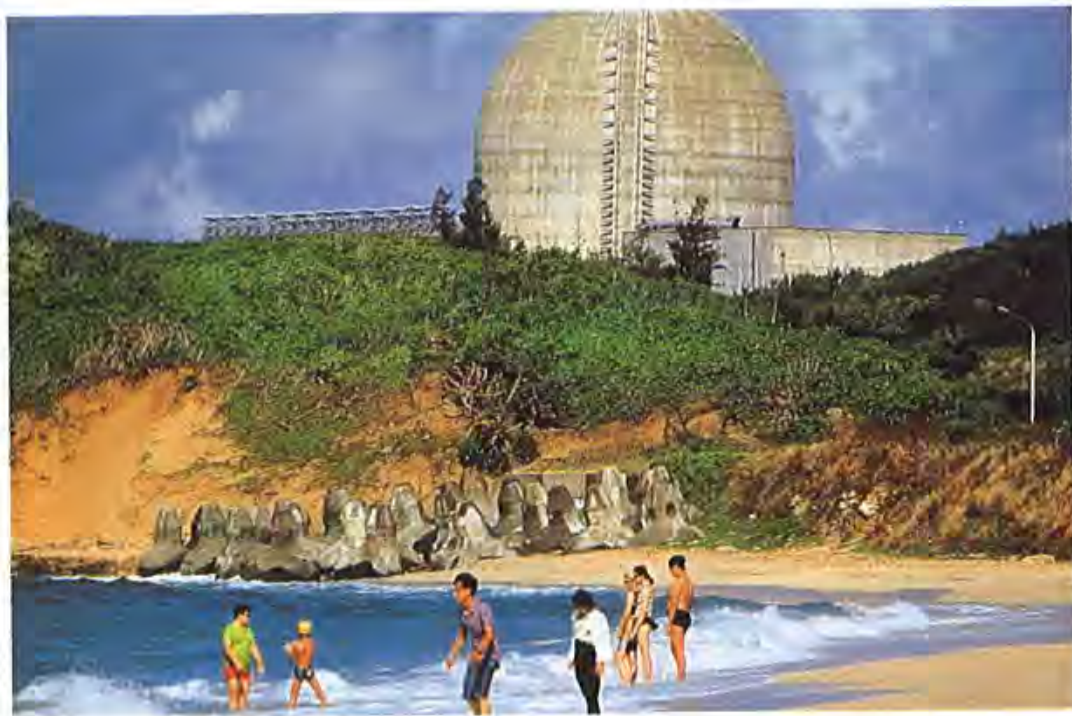
台電公司目前擁有三座核能發電廠，總共六部發電機組。自民國六十七年十二月核一廠開始商業運轉迄今已運轉23年歷史。這段期間提供大眾穩定的電源，對我國經濟發展助益甚大。

國內的核電廠都由美國設計，在輻射安全的設計上採取縱深防禦理念，層層防護措施使得意外事故的機率降到最低。如果一旦發生事故，圍阻體能將放射性物質完全阻絕在內，外在環境遭受污染的機率甚低。

原子能委員會是核能電廠安全的主管機關，透過駐廠人員監督及完備的管制法規，歷年來我國核能電廠一直在安全平穩的情況下運轉。同時為了防患於未然，原能會要求台電公司每廠每年都舉辦意外事故廠內應變演習。另外，每2年在台灣南北輪流舉辦大規模廠外應變演習，結合地方政府民防、救災、警政、地區民衆、陸軍化學兵及專業輻防人員聯合演練。雖然知道核能電廠發生重大意外事故的機會非常微小，但整個輻安體系卻從未掉以輕心。

歷年來我國核能電廠對周圍環境與民衆所造成的輻射劑量低到幾乎無法測出，只能用數學模式定期作評估。大家一向關心的核能電廠造成民衆輻射劑量遠小於天然背景輻射的0.1%以下，若依照ICRP-60報告輻射致

癌死亡率的保守估計，台灣核能發電廠每年造成民衆癌症死亡率為 1×10^{-7} ，即千萬分之一，健康風險非常小。在86年2月26日台電公布歷年來核電廠員工罹患癌症死亡率報告，估計致癌死亡率每十萬人為82.46人，這較衛生署公布85年台灣地區民衆平均致癌死亡率每十萬人有139.1人還低。



(四)台灣輻射鋼筋事件

1.發現及分布

民國八十一年七月原能會證實發現鈷60污染的輻射鋼筋屋，迄今已查出一百多起，一千多戶的房屋受到污染，建屋的期間多集中在民國七十一年到七十三年之間完成者。發現時，輻射建物的劑量最高者達每年67毫西弗，百分之七十八建物的年劑量低於5毫西弗。分布地點除了彰化一座鐵窗及新竹縣竹北市一農舍外，其餘均座落於台北市、台北縣、基隆市和桃園縣。發生原因是民國七十一年至七十三年間廢鐵中夾雜 ^{60}Co 輻射源被一併熔製成輻射鋼筋。由於居民並非每天靠著牆柱邊過生活，因此住戶民衆實際接受的劑量比建物輻射劑量低很多。

2.如何處理

根據行政院核定之「輻射污染建築物事件防範及處理辦法」(民國86年11月5日)(相關資料可向原子能委員會索取，電話為0800-076678)，民國七十一年至七十三年建屋可向原能會申請免費檢測。若確定是輻射鋼筋屋，則原能會將立即評估人員劑量及居住期間的累積劑量，並根據劑量的高低主動提供後續的處理措施，例如任何一年接受輻射劑量5毫西弗以上者，可接受免費健康檢查及追蹤。當劑量更高時，還有建屋政府收購，發給遷移費、改善工程補助費、減免房屋稅等措施。原能會亦採取許多積極的措施，一方面阻絕再有輻射鋼筋產生，另一方面則傾全力要找出任何遺漏的輻射鋼筋屋。

3.健康效應

1600餘位居民已接受體檢或淋巴球染色體變異的分析。但目前結果尚未發現任何特殊異常之處，尚有待進



輻射建屋偵測



輻射建屋補助



輻射建屋工程改善



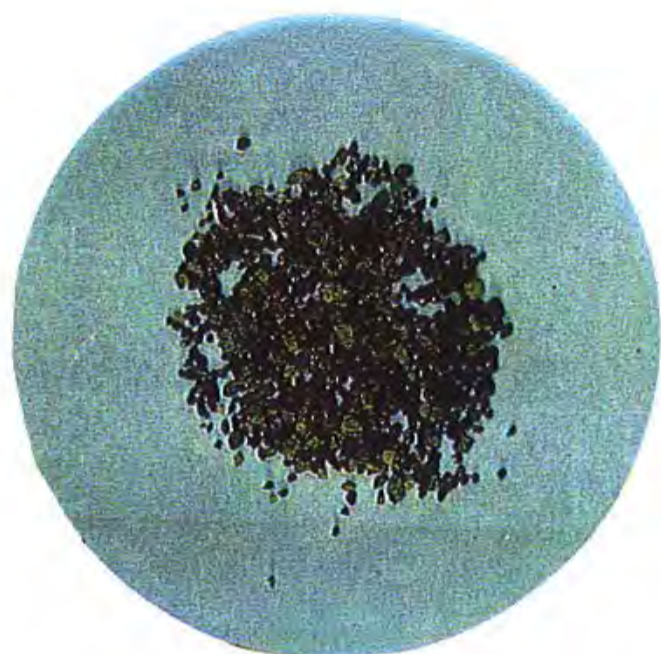
住民體檢及追蹤

輻射與健康

一步長期的觀察與追蹤。

(五)桃園輻射異常道路

民國八十三年十月，為快速偵測輻射屋，原能會的輻射偵測車無意中發現桃園地區八條道路的輻射強度高於一般正常背景。經過取樣及放射核種、化學成分、X-光鑑定分析後確認輻射來源出自預拌瀝青所含黑色玻璃狀顆粒(當級配材料)，如圖示，含較高的鈾、釷系列等天然放射性核種。由於這些顆粒被高溫燒結過，且經測試確定放射性核種不易被水瀝滲出來造成水污染或空浮造成空氣污染。



輻射道路中含放射性的玻璃狀顆粒



一般重砂外觀

經過度量及評估，路旁居民大約每年多接受 0.13 毫西弗 (130 微西弗)劑量，這與台灣地區民衆平均每年接受天然輻射 2 毫西弗相比並不顯著，輻射的健康效應是可以忽略。以表 5.1 台灣地區民衆各類意外災害危險度的統計比較，可以了解道路輻射異常所造成的危險度極低。

目前桃園市之輻射異常道路，經中央、省、縣、市政府及有關單位的共同辦理下，已於八十七年五月底順利地完成全部的剷除及重鋪工程。

表 5.1 台灣地區民衆輻射致癌與意外災害危險度比較

意外災害類別	總死亡數	每十萬人口死亡率
1. 交通事故	7,537	35.44
2. 淹水及溺死之意外災害	1,112	5.23
3. 意外墜落	1,260	5.92
4. 意外中毒	568	2.67
5. 火災之意外災害	363	1.71
6. 自殺及自傷	1,618	7.61
7. 其他意外災害	2,143	10.08
8. 輻射異常道路之估計	0	0.65 *

資料來源：衛生署八十四年統計

* 依據國際放射防護委員會 ICRP-60 報告所作的評估值。

六、結語

人類生來就生活在一個自然的輻射環境中，根據聯合國原子輻射效應科學委員會(UNSCEAR)1993年的資料，世界上每人每年接受的天然背景輻射劑量平均為2.4毫西弗，而台灣地區則每人每年平均接受2.0毫西弗，略低於世界平均值。此外，人們因為生活效益上的需要，如醫療診斷及使用生活日用品等，亦無可避免地接受少量的人造輻射。

隨著科技的進步和經濟發展，輻射在醫、農、工與基礎科學方面的應用日益廣泛，它與我們的生活愈來愈息息相關。根據科學數據和經驗，我們可以肯定的說，只要充分瞭解輻射的特性，遵守輻射防護的規定，預先做好安全評估，建立周全的管制措施，嚴格管制人員劑量，一方面防止高劑量的確定效應發生，另一方面抑低低劑量的機率效應到合理的低，則輻射就如同大自然的空氣、水、火一般，人類可以不斷運用智慧享受它的效益，提昇生活與健康的品質。

世間沒有零風險的行業，
如何既能提昇健康與環境
品質，又能不斷發
展工業和經
濟，需要大
家時時發揮智
慧，作出明智
的抉擇。



七、附錄：名詞說明

* 放射性(Radioactive)

不穩定原子核放射出游離輻射之現象。

* 輻射(Radiation)

能量以波動或高速粒子的形態傳播稱為輻射。

* 游離輻射(簡稱輻射)(Ionizing Radiation)

指直接或間接使物質產生游離作用之電磁輻射或粒子輻射。

* 體外輻射(External Radiation)

指由體外照射於人體之輻射。

* 體內輻射(Internal Radiation)

指由進入體內之放射性核種所產生之輻射。

* 活度(Activity)

指某量之放射性核種在單位時間內發生之自發衰變數目。單位為貝克。每秒自發衰變一次為一貝克。

* 機率效應(Stochastic Effect)

指健康效應的發生機率與所受劑量大小成比例增加，而與嚴重程度無關，此種效應之發生無低限劑量。

* 確定效應(Deterministic Effect)

指健康效應的嚴重程度與所受劑量大小成比例增加。此種效應須超過低限劑量才會發生。

