

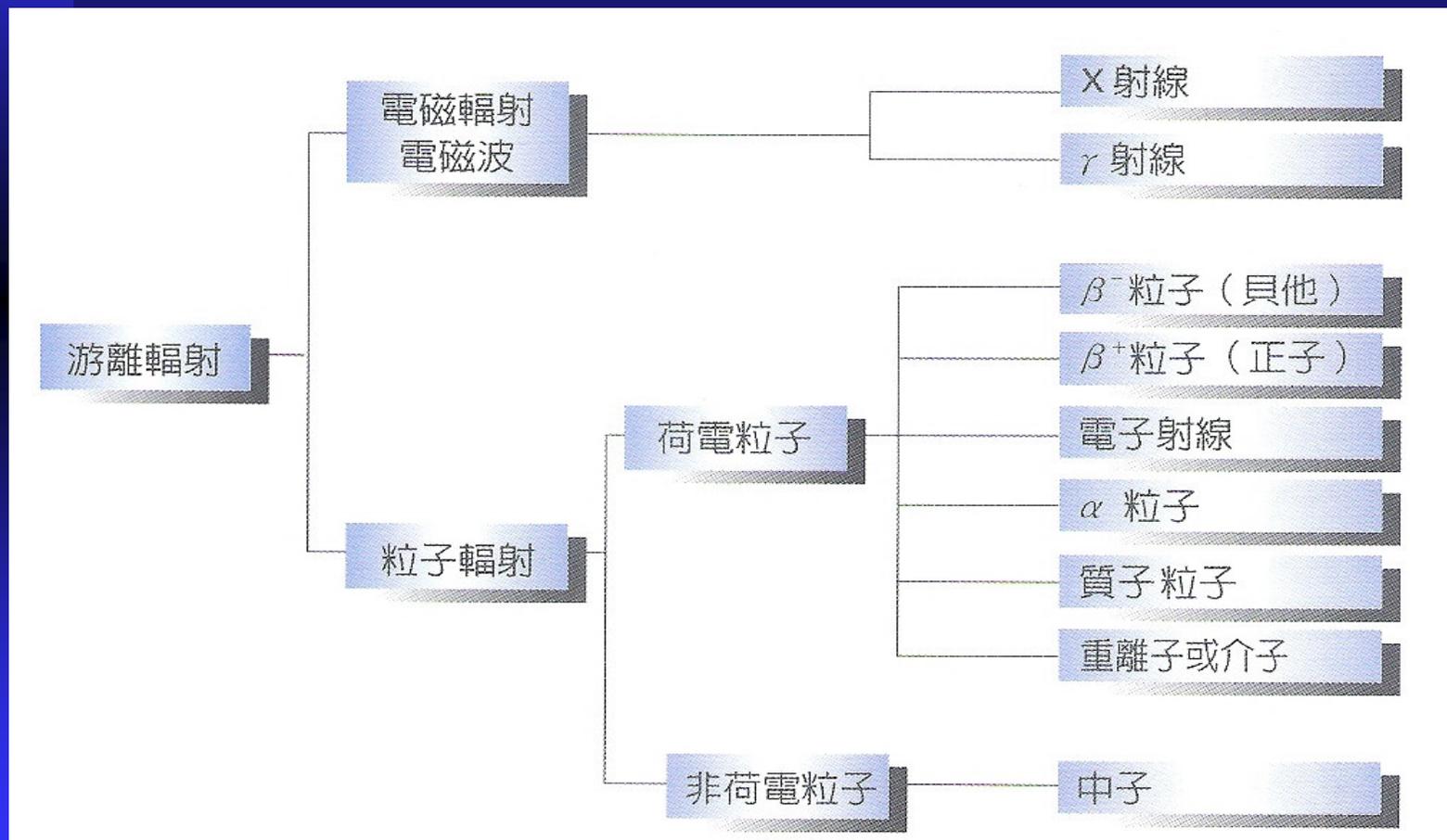
# 輻防簡介、輻射計量單位及生物效應

中山大學輻射防護委員會

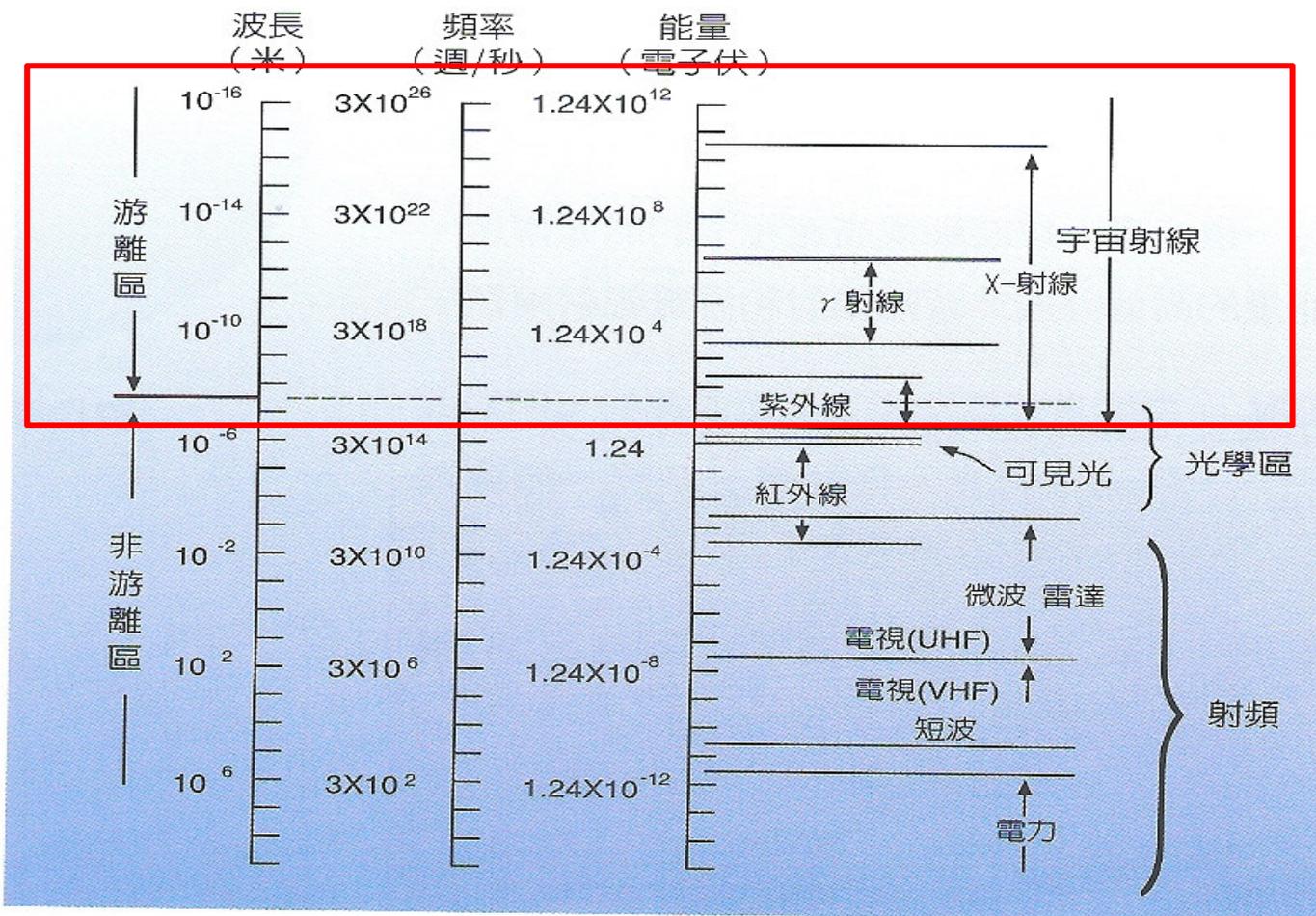


人類自古至今生存在一個陽光、空氣、水與輻射的自然環境中

# 定義輻射



# 電磁輻射之波長



## 放射性同位素可產生粒子輻射

- 如果兩個原子的質子數目相同，但是中子數目不同，則它們仍有相同的原子序，在周期表上是在同一個位置的，所以此兩者就叫「同位素」。
- 如鈷60，記成 $^{60}\text{Co}$ ，它有27個質子和33個中子，其質量數為60。

至於同位素，例如鈷的同位素有五種分別是 $^{56}\text{Co}$ 、 $^{57}\text{Co}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{59}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$

除了 $^{59}\text{Co}$ 是穩定同位素外，其餘都具有放射性。

# 輻射的產生

- 當不穩定的原子核自發性地蛻變成穩定原子核時，以**電磁波**或**粒子**的形態射出，即為輻射。

## (a) $\beta^-$ Decay



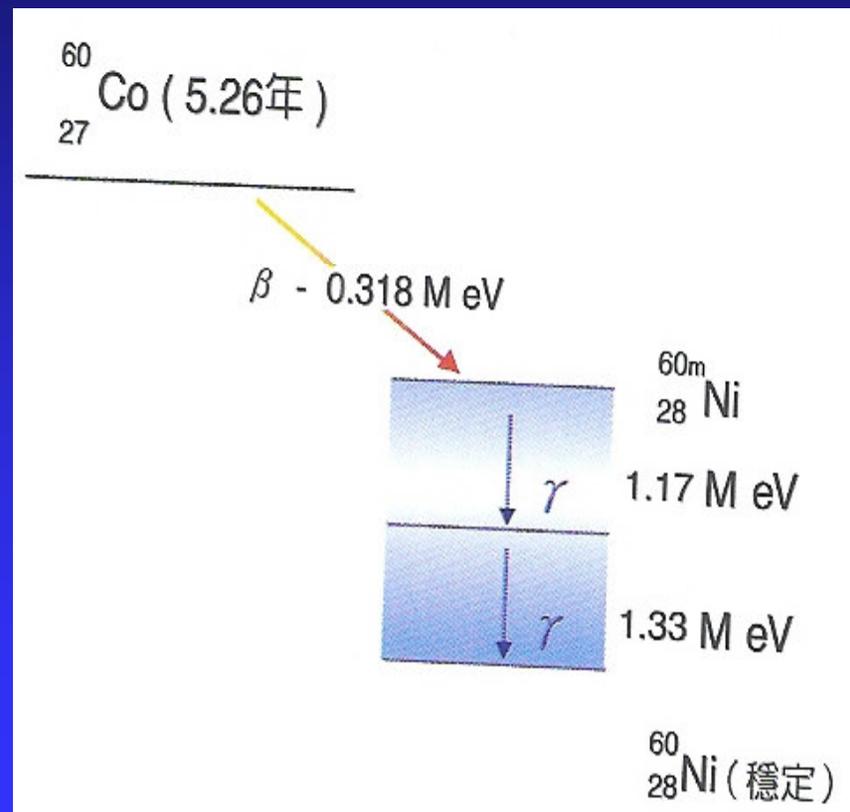
## (b) $\beta^+$ Decay



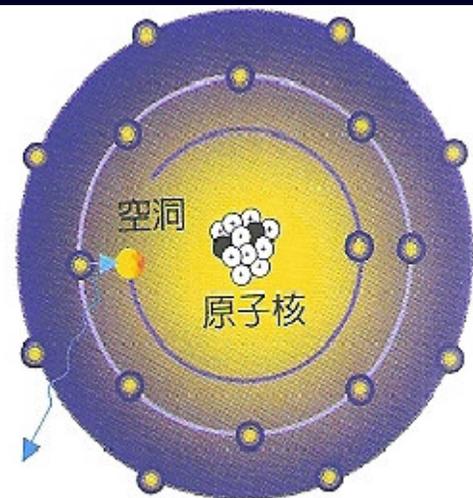
## (c) $\alpha$ particle emission



## (d) Nuclear fission

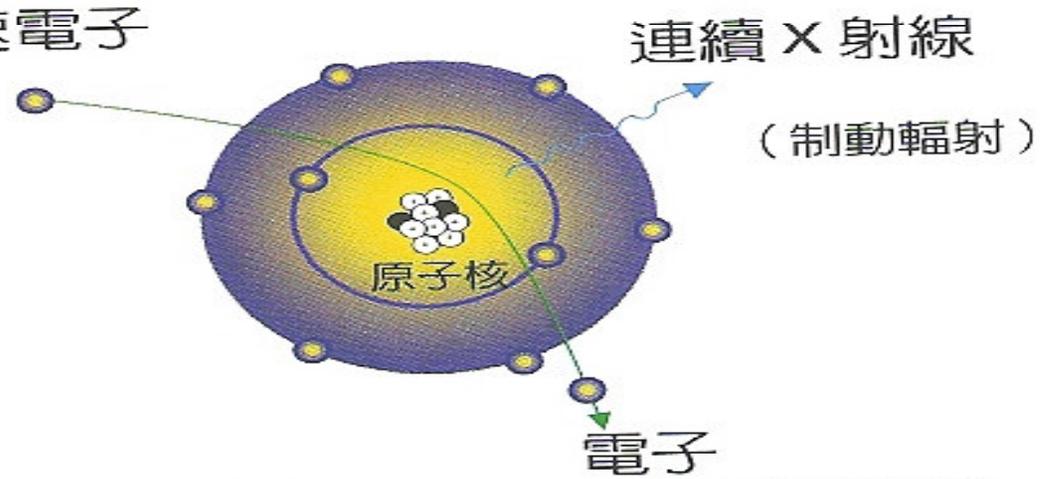


電子由高能軌道跳向低能軌道產生特性X射線



特性X射線

高速電子

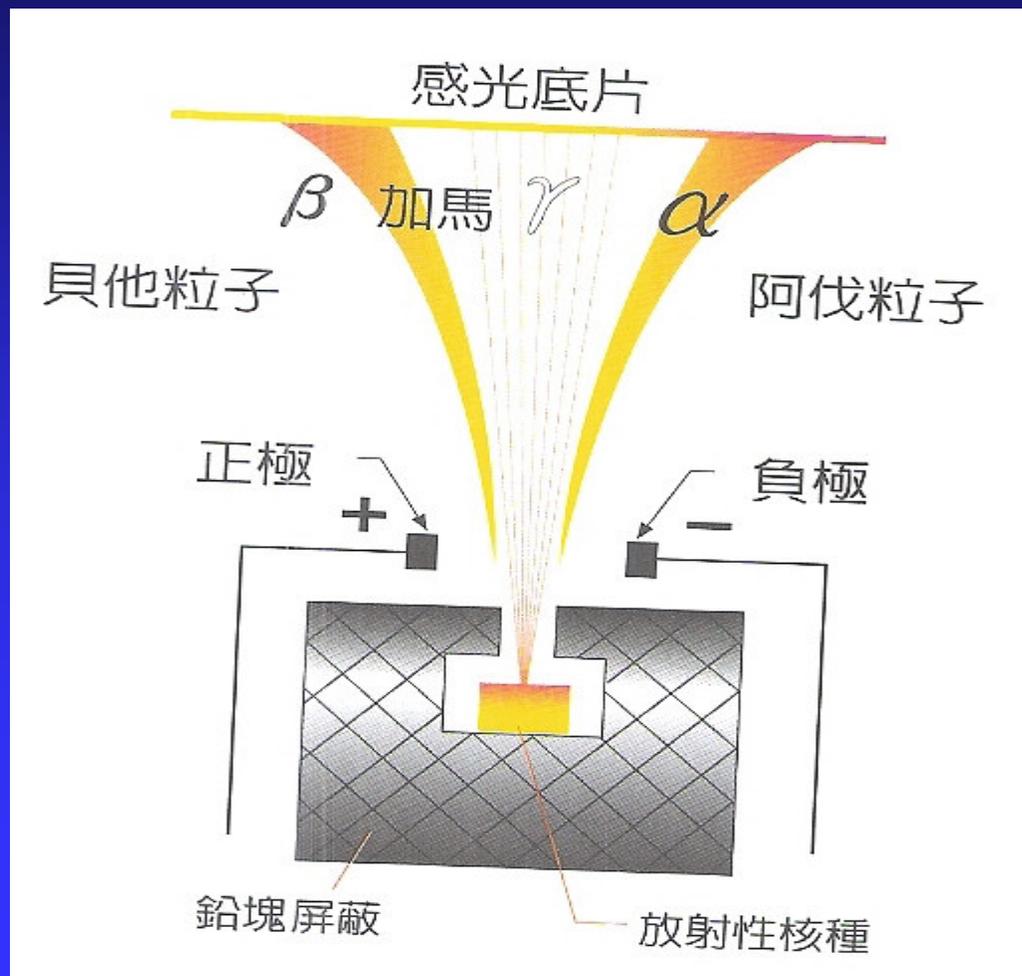


高速電子撞擊重原子核產生連續X射線

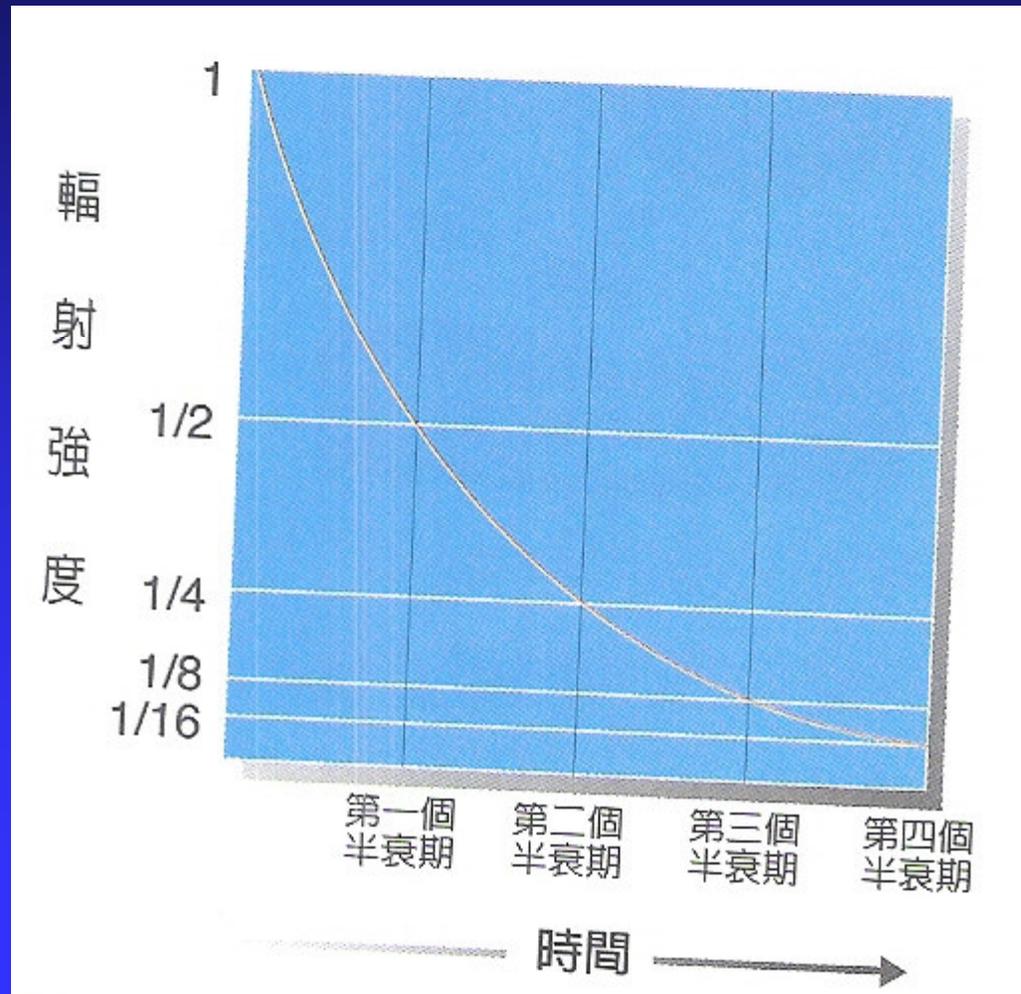
# 輻射特性

- 電場對不同輻射有不同的影響
- 輻射強度隨時間之增加而遞減
- 不同的輻射有不同的穿透力

# 電場對不同輻射有不同的影響



# 輻射強度隨時間之增加而遞減



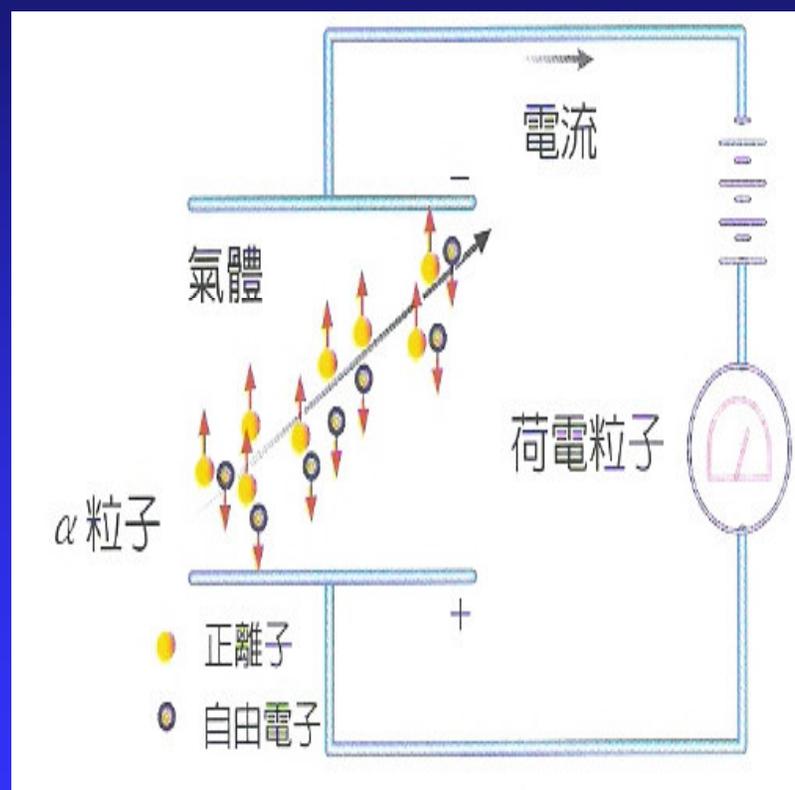
# 不同的輻射有不同的穿透力



# 輻射的度量

常用的度量方法有下列六種：

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



射源活度 (單位=貝克)



物質吸收劑量  
單位=戈雷 (Gy)  
每單位質量內所  
吸收的游離輻射  
能量

人體全身有效等效  
劑量單位=西弗 (Sv)

$$H_E = \sum W_T \cdot H$$

$W_T$ : 組織加權因數

人體組織器官等效  
劑量單位=西弗 (Sv)

$$H = DQ$$

D: 吸收劑量

Q: 射質因數

ICRP26	ICRP60
吸收劑量(D)	
等效劑量(H)	等價劑量( $H_T$ )
有效等效劑量( $H_E$ )	有效劑量(E)
射質因數(Q)	輻射加權因數( $W_R$ )

94年12月30日公布之「游離輻射安全標準」  
將有效等效劑量修正為有效劑量。

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

# 輻射的單位

- 活度(activity, A)
- 曝露量(X)
- ICRP26定義：
  - 吸收劑量(absorbed dose), D
  - 等效劑量(dose equivalent), H
  - × 有效等效劑量(effective dose equivalent),  $H_E$
- ICRP60定義：
  - 等價劑量(equivalent dose),  $H_T$
  - 有效劑量(effective dose), E

# 活度(A)

- 活度(activity)：指一定量之放射性核種在單位時間內發生之自發衰變原子核數目，其單位為貝克，每秒自發衰變一次為一貝克。

活度：每秒原子核衰變的個數

$$A(t) = \lambda N(t) = \lambda N(0) e^{-\lambda t} = A(0) e^{-\lambda t}$$

t：時間

$\lambda$ ：衰變常數

N：原子數目

傳統單位：居里(Curie, Ci)：

1 g  $^{226}\text{Ra}$ ( $T=1600$  y)的活性為1 Ci。

國際單位：貝克(Becquerel, Bq)

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

# 曝露量(X)

- 單位質量之乾空氣與 $\alpha$ 或 $\gamma$ 射線作用所產生之電荷量：
- 傳統單位(倫琴)：使1公斤乾空氣產生 $2.58 \times 10^{-4} \text{C}$ 電量為1R(Roentgen，倫琴)。  
國際單位( $\text{C kg}^{-1}$ )： $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$ 。
- 因為環境中 $\alpha$ 、 $\beta$ 與中子幾乎不存在，故此單位常用來表示環境中電磁波的強度；電磁波強度越強，單位體積或質量中的空氣分子被游離越多，產生電量也越多

# 吸收劑量(D)

- 指單位質量物質接受輻射之平均能量。

D：吸收質量(Roentgen Absorbed Dose；rad，雷得)  
(單位：erg/g)

$$D = dE/dm$$

E：吸收之能量(erg)  
m：物質質量(g)

∴ 在乾空氣中  $1 \text{ rad} = 1.15R = 107 \text{ erg}/1000\text{g}$   
SI unit：Gray(Gy，戈雷)  
= 1J/Kg  
= 100 rad  
= 100 erg/g

輻射劑量的吸收多寡，與輻射線的強度與種類、距離射源的距離、接觸輻射線時間的長短、屏蔽材質與厚度、吸收物質的種類等均相關。

# 等效劑量(H)

- 等效劑量(dose equivalent)：指人體組織或器官之吸收劑量與射質因數之乘積，其單位為西弗(Sv)。
- 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( $\mu$ Sv/h)
- 或稱生物效應劑量(Relative biological effectiveness dose), 同量的 RBE，因粒子的質量不同，游離效應不同，所以會產生不同的生物效應劑量。參考輻射(250 keV X射線)與測試輻射所需輻射劑量之比值。

# 等效劑量(H)

最初，輻射生物學家提出：

$\text{RBE dose (rem)} = \text{D (rad)} \times \text{RBE}$  來

定量生物組織之輻射傷害；因RBE僅適用輻射生物學，ICRU(International Commission on Radiological Units and Measurements)接著提出修正： $\text{H} = \text{D} \times \text{Q}$

輻射的射質因數

輻射種類	平均射質因數
X、 $\gamma$ 、 $\beta$	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
A粒子及多電荷粒子	20

# 等價劑量( $H_T$ )

等價劑量(equivalent dose,  $H_T$ ) :

指器官劑量與對應輻射加權因數乘積之和。

(器官劑量：指單位質量之組織或器官吸收輻射之平均能量，其單位為戈雷。)

「游離輻射防護安全標準」附表一規定：輻射加權因數 $W_R$ 指為輻射防護目的，用於以吸收劑量計算組織與器官等價劑量之修正因數，係依體外輻射場之種類與能量或沉積於體內之放射性核種發射之輻射之種類與射質訂定者，能代表各種輻射之相對生物效應。

TABLE 7.8. Quality and Radiation Weighting Factors for Various Radiations

Radiation	$Q$	$W_R$
X, gamma, beta	1	1
Neutrons		
Thermal	2	5
0.01 MeV	2.5	10
0.1 MeV	7.5	10
0.5 MeV	11	20
>0.1 MeV–2 MeV		20
>2 MeV–20 MeV		5
Unknown energy	10	
High-energy protons	10	5
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei	20	20

Source: Adapted from 10 CFR 20 ( $Q$ ) and ICRP 60 ( $W_R$ ). By permission.

# 等價劑量( $H_T$ )<sub>T</sub>

等價劑量(equivalent dose,  $H_T$ ) :

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

$H_T$  : 在組織或器官中，輻射(R)所導致的等價劑量。

$D_{T,R}$  : 在組織或器官中，輻射(R)所導致的平均吸收劑量。

$W_R$  : 輻射(R)的輻射加權因數。

# 有效劑量(E)

- 有效劑量(effective dose, E)：

有效劑量：指人體中受曝露之各組織或器官之等價劑量與各該組織或器官之組織加權因數乘積之和。

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T \quad (E = \sum W_T \cdot W_R \cdot D_T \cdot R)$$

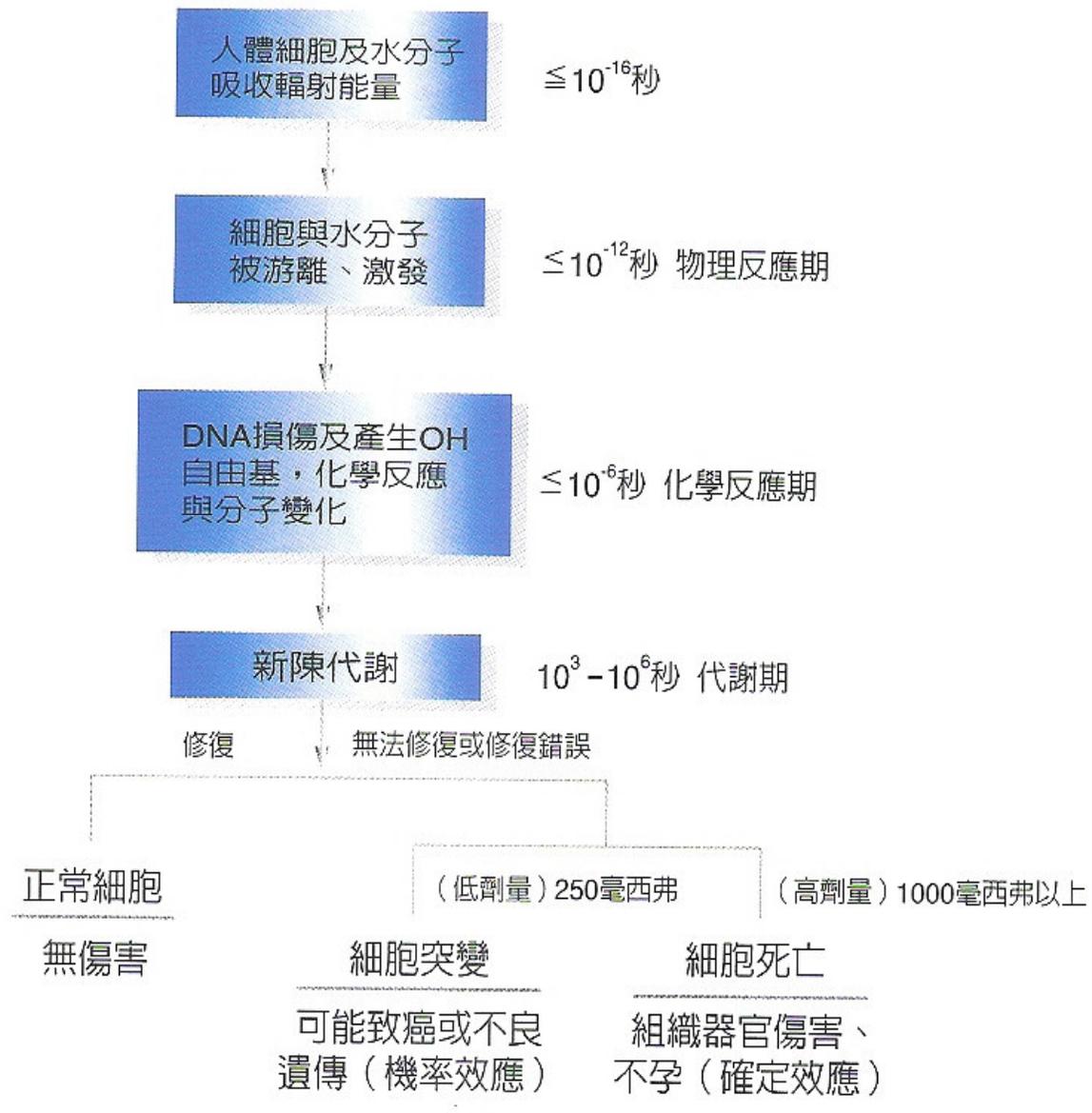
E：有效劑量。

$H_T$ ：組織或器官的等價劑量。

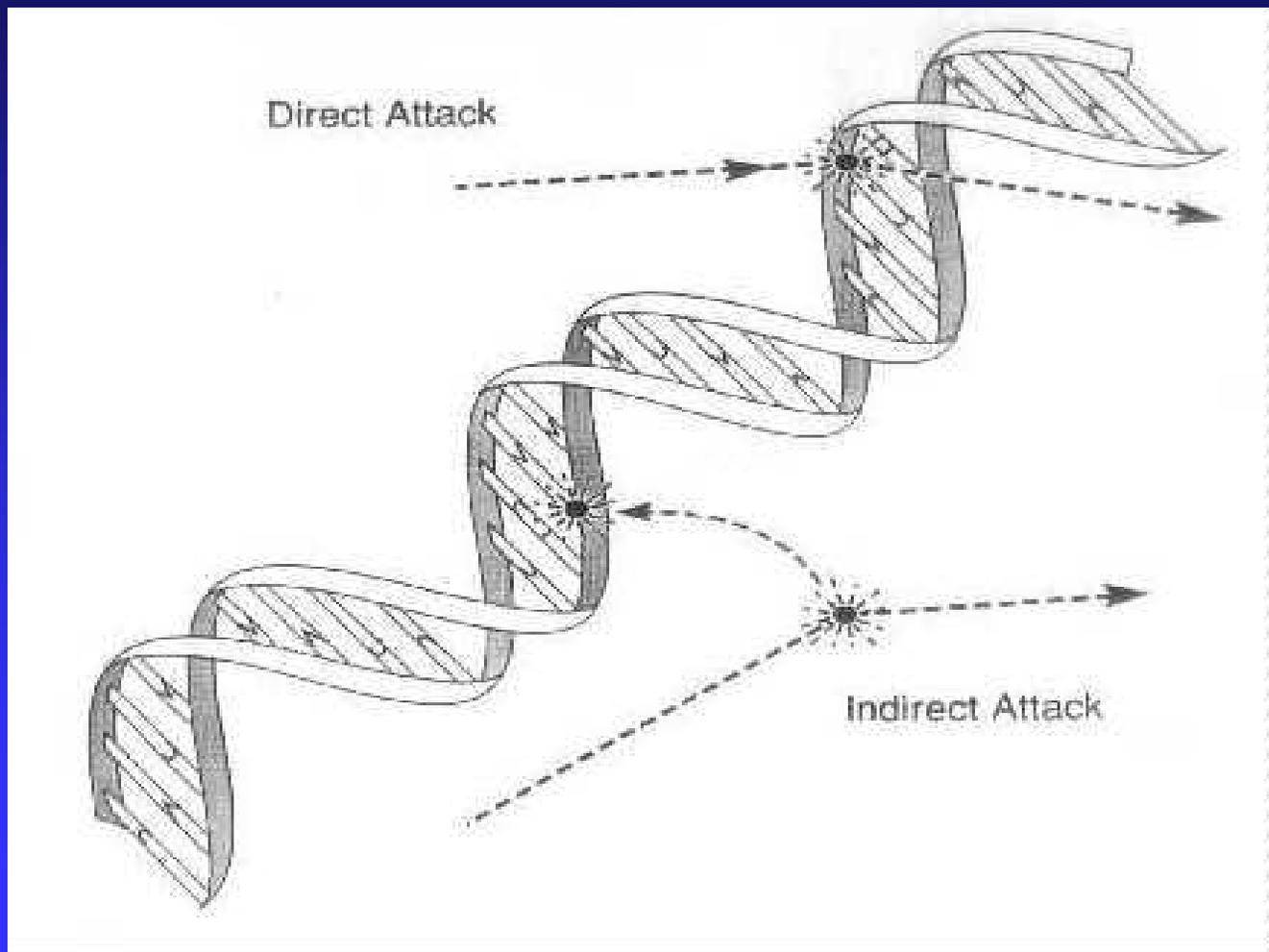
$W_T$ ：組織加權因數。

## 新國際與舊輻射專用單位之關係

量	國際單位(SI Unit)	約相當於舊輻射單位
活度	1/秒( $S^{-1}$ )或貝克(Bq)	$2.703 \times 10^{-11}$ 居里(Ci)
曝露量	庫侖/公斤(C/kg)	3876倫琴(R)
吸收劑量	焦耳/公斤(J/kg)或戈雷(Gy)	100雷得(red)
等效劑量 等價劑量	焦耳/公斤(J/kg)或西弗(Sv)	100倫目(rem)

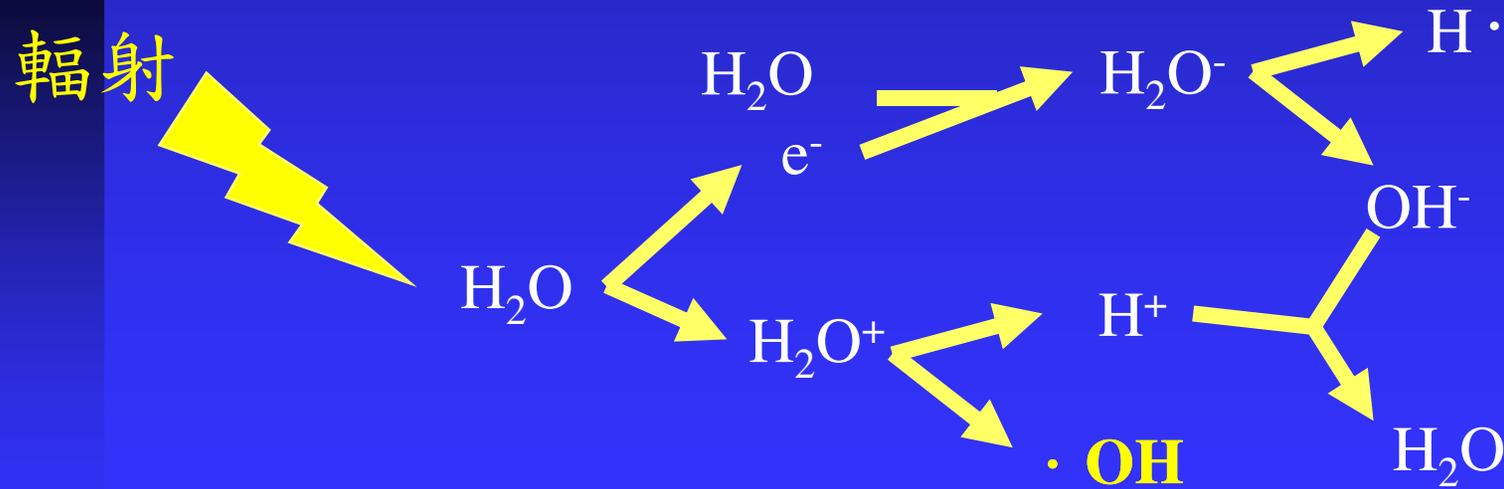


# DNA損傷



# 自由基

- 水分子經輻射分解的過程及產物，其中尤其以氫氧自由基( $\cdot\text{OH}$ )的產量非常高，對其周圍重要生物分子的破壞，更值得注意。



# 輻射健康效應

軀體效應	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	
		白血病 癌症	機率效應
遺傳效應		遺傳基因突變或染色體變異所發生的各種疾病	

# 輻射敏感度

- 分裂次數愈高的組織對輻射愈敏感
- 分裂頻率愈高的組織對輻射愈敏感
- 型態與功能上尚未分化的組織對輻射較敏感

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

# 輻射防護

## ■ 輻射防護的原則

- 利用輻射所獲得的效益必須超過它的代價
- 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
- 輻射作業人員與一般民眾接受輻射劑量均不得超過法規的限制

# 輻射防護的方法

## ■ 體外曝露的防護(TSD)

- 時間：接受曝露的時間儘可能縮短
- 距離：要遠離射源
- 屏蔽：利用鉛板鋼板或水泥牆可擋住輻射或減低輻射強度

## ■ 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

# 游離輻射防護安全標準

第二條 本標準用詞定義如下：

五、劑量：指物質吸收之輻射能量或其當量。

九、輻射之健康效應區分如下：

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

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

# 游離輻射防護安全標準

## 第六條

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。

前項第三款個人劑量，指個人接受體外曝露及體內曝露所造成劑量之總和，不包括由背景輻射曝露及醫療曝露所產生之劑量。

## 第七條

輻射工作人員職業曝露之劑量限度，依下列規定：

- 一、每連續五年週期之有效劑量不得超過一百毫西弗，且任何單一年內之有效劑量不得超過五十毫西弗。
- 二、眼球水晶體之等價劑量於一年內不得超過一百五十毫西弗。
- 三、皮膚或四肢之等價劑量於一年內不得超過五百毫西弗。

前項第一款五年週期，自民國九十二年一月一日起算。

# 游離輻射防護安全標準

## 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。

## 第十一條

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。

## 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。

# 游離輻射防護安全標準

## 第十四條

含放射性物質之廢水排入污水下水道，應符合下列規定：

- 一、放射性物質須為可溶於水中者。
- 二、每月排入污水下水道之放射性物質總活度與排入污水下水道排水量所得之比值，不得超過附表四之二規定。
- 三、每年排入污水下水道之氡之總活度不得超過  
1.85×10<sup>10</sup>貝克，碳十四之總活度不得超過  
3.7×10<sup>10</sup>貝克，其他放射性物質之活度總和不得超過3.7×10<sup>10</sup>貝克。

## 第十七條

緊急曝露，應於符合下列情況之一時，始得為之：

- 一、搶救生命或防止嚴重危害。
- 二、減少大量集體有效劑量。
- 三、防止發生災難。

設施經營者對於接受緊急曝露之人員，應事先告知及訓練。

# 游離輻射防護安全標準

第十九條 液態閃爍計數器之閃爍液每公克所含氚或碳十四之活度少於 $1.85 \times 10^3$ 貝克者，其排放不適用本標準之規定。

第二十條 動物組織或屍體每公克含氚或碳十四之活度少於 $1.85 \times 10^3$ 貝克者，其廢棄不適用本標準之規定。

# 國立中山大學輻射防護措施計畫

第二條 本計畫依「游離輻射防護法」第七條之規定訂定。

第四條 放射性物質或可發生游離輻射設備之操作人員應受有關游離輻射防護之訓練並應領有原子能委員會發給之輻射安全措施（惟放射性物質之總放射度未超過管制規定時，操作人員可依「放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法」第三條規定，以輻射防護講習證書代替輻射安全證書）。

第二十五條 工作人員在工作時應視需要配帶人員劑量計，工作時間以外的時間須與背景佩章一併置存於不受輻射影響之地區，由各單位主管集中保管。

第四十四條 放射性物質接受及領用之帳料應予平衡，輻射防護委員會應至少每月核對乙次，並製作報表上網申報，以了解放射性物質使用情形。

# 意外事故處理

第四十九條 應將意外事故處理程序之重點、聯絡人、  
連絡電話，揭示於管制區明顯易見之處。

# 放射性實驗室輻射安全守則

1. 進入實驗室時必須穿工作衣與套鞋，用畢應放回原處。
2. 在進入實驗室內不得吸菸或飲食，並避免使用化妝品。
3. 如非必要私人物品勿攜進室內，實驗所產生之廢料應按規定收集、處理。
4. 處理放射物質時應戴橡皮手套，皮膚如果有外傷應避免從事放射性工作。如必須工作，應將傷口妥善包紮。
5. 吸取液態放射性物質時，應使用安全吸球，絕對禁止以口接觸吸管吸取。
6. 操作鬆散的放射性物質，或加熱處理過程，應在氣櫃中進行。
7. 盛裝放射性物質之容器，應標示放射性標誌。
8. 實驗過程中如不慎吸入放射性物質，或發生與放射性物質有關之身體傷害時，應即通知輻射防護人員。
9. 工作完畢時，應測定工作場所如檯面、地面、氣櫃、水槽等處是否污染，如有汙染應即除污。
10. 離開實驗室前，應偵測本身是否受到汙染。如發現汙染，應即依人員除污步驟進行除污，當確認已無汙染時始得離去。

# 人員除污步驟

- 一、用中性肥皂或肥皂粉，以較柔軟之皮革或橡膠，在污染部位輕擦數次，每次約二到三分鐘，再用清水沖洗。
- 二、如上述步驟無法除污時，則在污染部位塗上二氧化鈦( $TiO_2$ )軟膏，約三分鐘後，用溫肥皂水刷洗，必要時得重複一次。
- 三、如上述步驟尚未完成除污時，則使用飽和的高錳酸鉀溶液與同體積的0.2N硫酸混合溶液。繼之用溫水沖洗，然後以新配的5%亞硫酸氫鈉( $NaHSO_4$ )溶液擦洗，擦洗時間也不要超過二分鐘。最後再用肥皂洗滌及清水沖洗。除污後塗以少許羊毛脂或雪花膏，以防止皮膚龜裂。

如上述各步驟均未能達到除污要求時，則應向輻射防護人員報告，以便採行必要措施。

# 可發生游離輻射設備

證照號碼	機器名稱	放置地點	連絡人
設字第201459號	X光繞射儀	材料所B6014室	李秀月
設字第201460號	照相檢驗X光機	材料所B6014室	
設字第201604號	X光繞射儀	材料所B6013室	
設字第200581號	X光繞射儀	理學院東綜合第一大 樓理1008室(奈 米中心)	張鼎張
			顏采蓉
設字第202200號	分析鑑定X光儀	理學院東綜合第一大 樓理1009室(奈 米中心)	蔣燕南
			顏采蓉
設字第202201號	分析鑑定X光儀	化學所5009室	蔣燕南
設字第200869號	X光繞射儀	物理所E4004室	周隆文

# 可發生游離輻射設備

設字第200746號	X光繞射儀	海資所5006室	蕭炎宏
			許淑雅
設字第201965號	分析鑑定X光儀	海地化A3007室	陳鎮東
			王冰潔
設字第201943號	照相檢驗X光機	海院A3001室	莫顯蕎
設字第202829號	分析鑑定X光儀	光電所F3024室	賴聰賢
			刑晉源
設字第205267號	分析鑑定X光儀	海科院A1011室	林慧玲

# 密封放射性射源

GC/ECD (Ni63) 物字第1200542	氣層分析儀	環工所A5008室	高志明
GC/ECD (Ni63) 物字第1200539	氣層分析儀	海C6001室	李宗霖
GC/ECD (Ni63) 物字第1200541	氣層分析儀	環工所A5008室	高志明
GC/ECD (Ni63) 物字第1200540	氣層分析儀	環工所A5015室	林朝榮
GC/ECD (Ni63) 物字第1200543	氣層分析儀	環工所A6005室	楊金鐘
GC/ECD (Ni63) 物字第1200659	氣層分析儀	海地化所A3012室	王冰潔
GC/ECD (Ni63) 物字第1200666	氣層分析儀	環工所A6009室	袁中新
GC/ECD (Ni63) 物字第1202152	氣層分析儀	環工所A5015室	林朝榮

# 非密封放射性物質

	有效日期	使用地點	核准持有量
物字第2100019號	98.08.03	E4018 E5018 E4011 海A2002 海A3003	H-3 15mCi P-32 15mCi S-35 10mCi C-14 5mCi I-125 10mCi Ca-45 5mCi Eu-152 1 $\mu$ Ci