



113年

高師大游離輻射防護教育訓練

講者：溫政齊

時間：民國113年12月13日 10:00~13:00

01 認識輻射 (認識輻射類型及單位)

02 介紹可分裂物質及放射性核種

03 輻射的健康效應、應用與防護

目錄



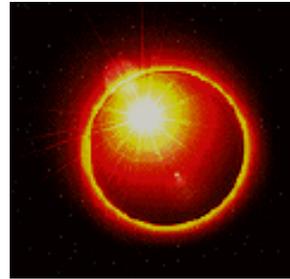
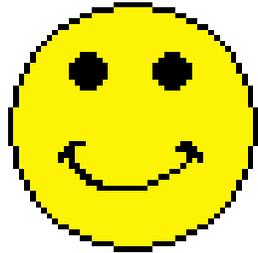
01

認識輻射

(認識輻射類型及單位)

什麼是輻射？

輻射是一種可被重複偵測到的能量。



游離輻射

游離輻射防護法(Ionizing Radiation Protection Act)

第二條 本法用詞定義如下：

- 一、游離輻射：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。
- 二、放射性：指核種自發衰變時釋出游離輻射之現象。
- 三、放射性物質：指可經由自發性核變化釋出游離輻射之物質。
- 四、可發生游離輻射設備：指核子反應器設施以外，用電磁場、原子核反應等方法，產生游離輻射之設備。
- 六、輻射源：指產生或可產生游離輻射之來源，包括放射性物質、可發生游離輻射設備或核子反應器及其他經主管機關指定或公告之物料或機具。

IAEA(2007)輻射示警輔助標誌

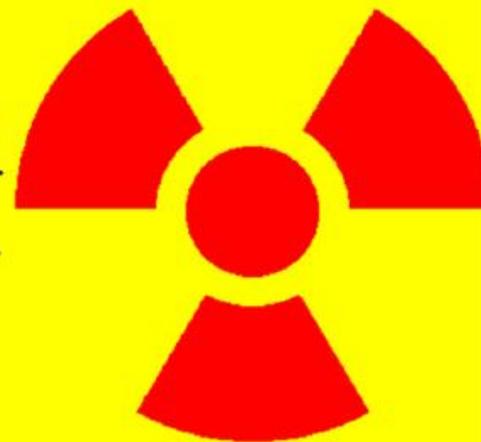


「新游離輻射警示輔助標誌」為國際原子能總署(IAEA)與國際標準組織(ISO)於2007年2月15日聯合宣佈啟用的新標誌，此新標誌將作為傳統三葉型輻射警示標誌的補充說明(2008/03/24)

輻射示警標誌

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。

游離輻射的發現

倫琴(Roentgen，德國)於1895年發現X光。

貝克(Becquerel，法國)於1896年發現鈾輻射線。

居里夫人(Curie，波蘭)於1898年發現放射性。



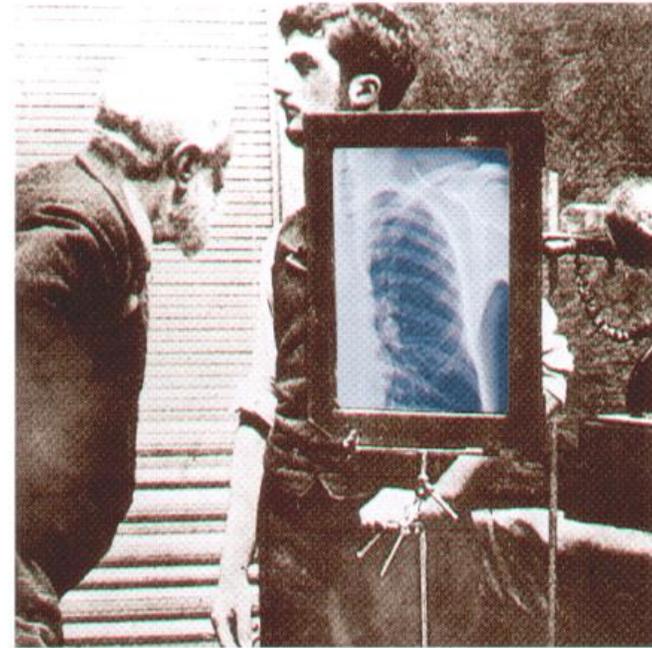
倫琴

貝克

居里夫人

古早的透視

- 早期使用游離輻射，尚無輻射防護



輻射防護開始於1942年12月2日
費米首次控制核分裂的連鎖反應

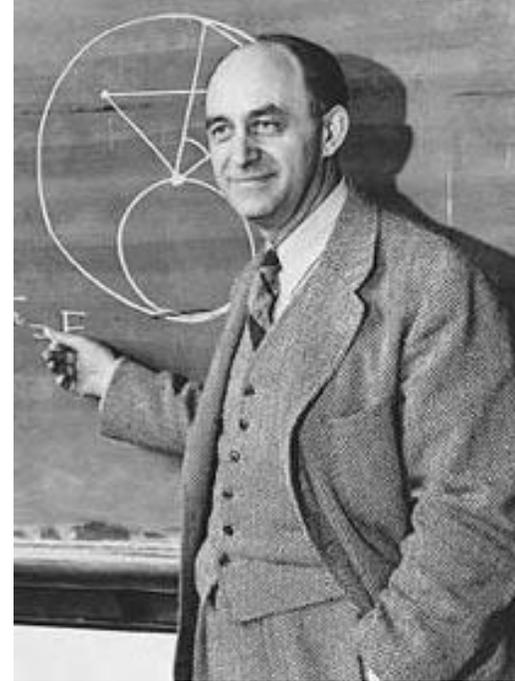
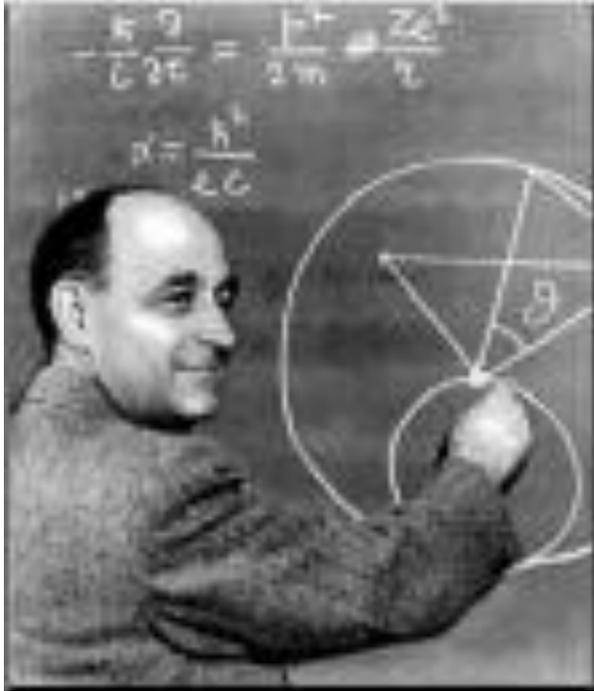
輻射防護/輻射安全/保健物理

保健物理又稱為輻射防護、輻射安全。

保健物理這名稱源自於1942年芝加哥大學的冶金實驗室。

保健物理組的第一件工作是為費米(Enrico Fermi, 1901-1954)所建造芝加哥堆一號(CP-1)設計屏蔽，最早的保健物理人員幾乎都是物理專業人員，他們試圖解決保健問題。

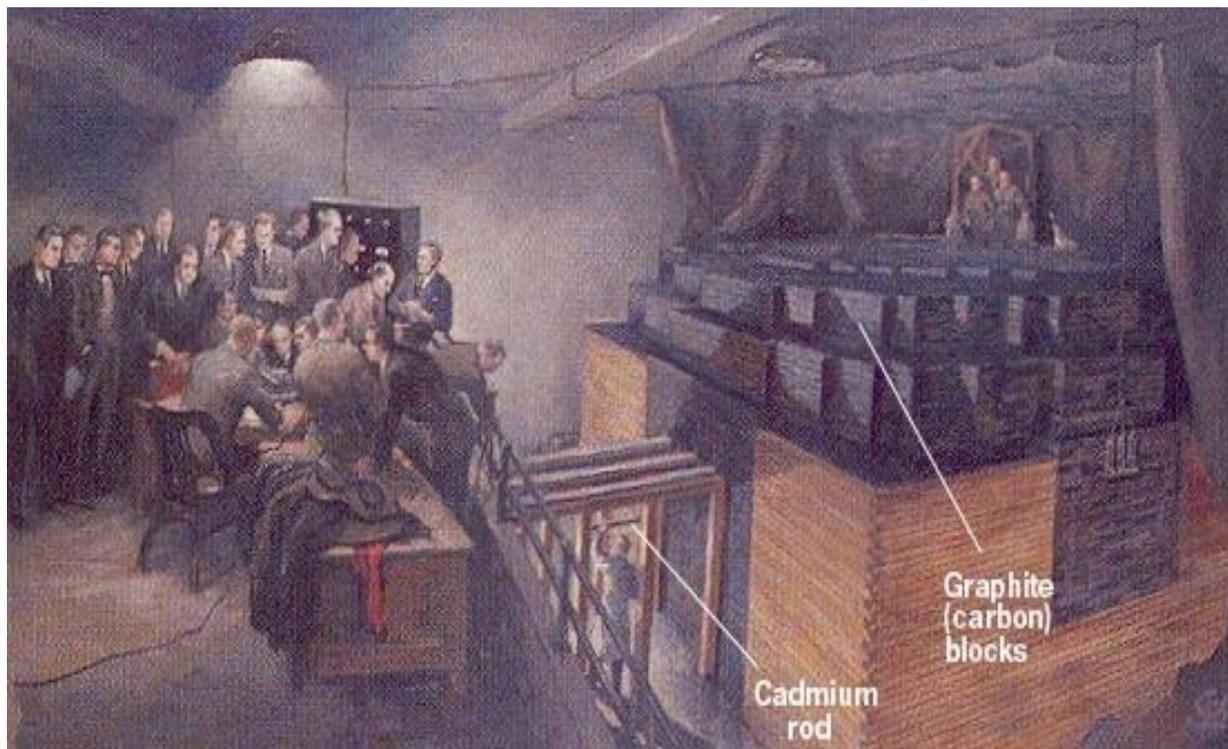
費米-原子能之父



輻射防護開始於1942年12月2日，
費米首次控制核分裂的連鎖反應。

歷史上第一次可控制的核子連鎖反應

1942年12月2日，芝加哥大學手球場露天看台下，鈾235位於成堆的石墨塊中央，碳當成緩和劑使用，使中子減速。



以鎘($_{48}\text{Cd}$)為控制棒，以硼($_5\text{B}$)液吸收中子

輻射與物質之作用



人



游離輻射-
電磁輻射(X光、 γ 射線)
粒子輻射(中子、 β 射線、
質子、電子)

致癌與遺傳效應(機率效應)
組織反應
(確定效應、非機率效應)

 可發生游離輻射設備
(X光機、加速器)

 放射性物質
(密封放射性物質、非密封放射性物質)
(鈷-60、銻-137、銥-192、碘-131、碳-14等)

游離輻射與非游離輻射

- ✧ 通常以10 keV作為游離輻射與非游離輻射的分界點。
- ✧ 能量大於10 keV的光子輻射或粒子輻射為游離輻射，能量低於10 keV者為非游離輻射。(但熱中子的能量僅為0.025 eV，卻屬於游離輻射)

輻射能量單位：電子伏(eV)

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ keV} = 1.602 \times 10^{-16} \text{ J}$$

$$1 \text{ MeV} = 1.602 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$1 \text{ GeV} = 1.602 \times 10^{-10} \text{ J}$$

$$1 \text{ TeV} = 1.602 \times 10^{-7} \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ CV} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

$$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$$

輻射能量與單位

單位與互換

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ keV} = 1.6 \times 10^{-16} \text{ J}$$

$$1 \text{ MeV} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$1 \text{ GeV} = 1.6 \times 10^{-10} \text{ J}$$

粒子型輻射...動能

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

電磁波型輻射...

$$E = h \nu$$

游離輻射是一種具有能量的電磁輻射或粒子輻射

游離輻射是一種具有能量的電磁波或粒子。將具有這種特性的電磁波(如X射線、 γ 射線)，以及從放射性核種蛻變發射出來的微小粒子(如 α 粒子、 β 粒子、中子等)都稱之為游離輻射。

輻射防護與能量傳遞的方式密切相關

游離輻射→能量高($> 10 \text{ keV}$)。

非游離輻射→能量低($< 10 \text{ keV}$)。

游離與游離輻射

原子獲得或損失所帶的電子，會變成帶電荷的粒子(稱為離子)之過程稱為游離。

游離輻射是指輻射能量在空間裡傳遞的一種形式，它可以是電磁輻射(電磁波)或次原子粒子(subatomic particles)輻射，其均能使物質發生游離作用，其中，次原子粒子包括質子、中子、 α 粒子、微中子等。

當游離輻射通過物質或介質時，藉著離子的形成，能量就會部份傳遞給該物質或介質。

直接游離輻射與間接游離輻射

帶電的粒子輻射可以直接產生游離作用，所以稱為直接游離輻射，如電子射束、 β^- 粒子、 β^+ 粒子、 α 粒子、質子等。

光子輻射與中子射束是間接產生游離作用，所以稱為間接游離輻射，如X光(特性輻射、制動輻射)、 γ 射線。

游離輻射的直接作用與間接作用

游離輻射的直接作用：當X光或射線照射到人體時，將分子或原子游離後，所產生的電子，直接作用在DNA上，即稱為直接作用。

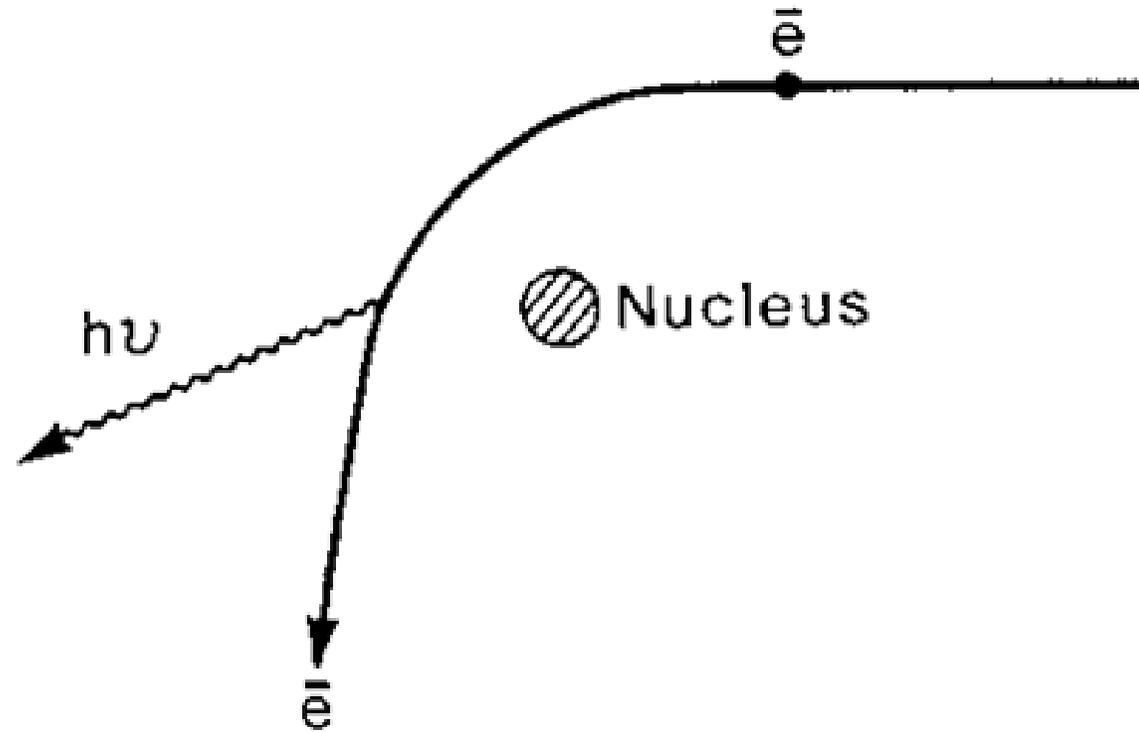
游離輻射的間接作用：當X光或射線照射到人體時，經由水或其他分子的游離產物（主要是自由基），再間接傷害細胞內重要標靶的方式，即稱為游離輻射的間接作用。如果受到傷害的大分子是DNA，則導致基因突變，染色體變異或細胞死亡。

X光與 γ 射線的異同

X光(能量單一的特性輻射、能量連續的制動輻射)、 γ 射線(能量單一)均為電磁輻射，遵循 $E=h\nu=hc/\lambda$ ， h 為普朗克常數($=6.626\times 10^{-34}$ Js)，其中 ν 為頻率， λ 為波長。

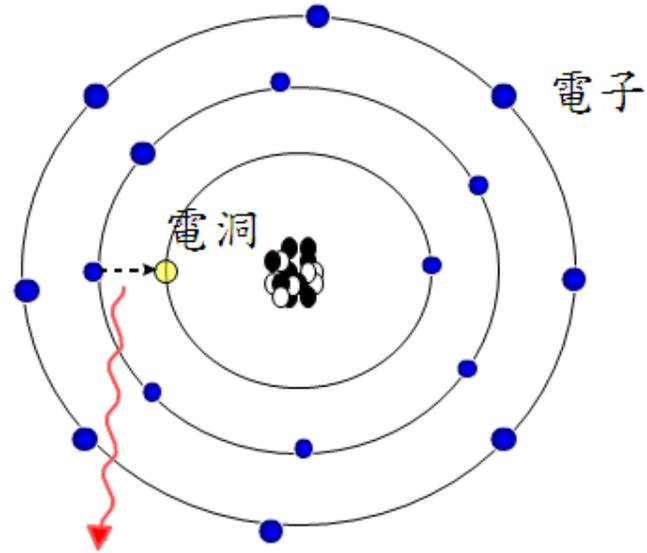
X光與 γ 射線均以光速($=3\times 10^8$ m/s)前進，但X光為自原子核外發射的電磁輻射， γ 射線自原子核內發射的電磁輻射(原子核制激過程所發射的電磁輻射)。

制動輻射(bremsstrahlung)的產生



制動輻射是能量連續的X光

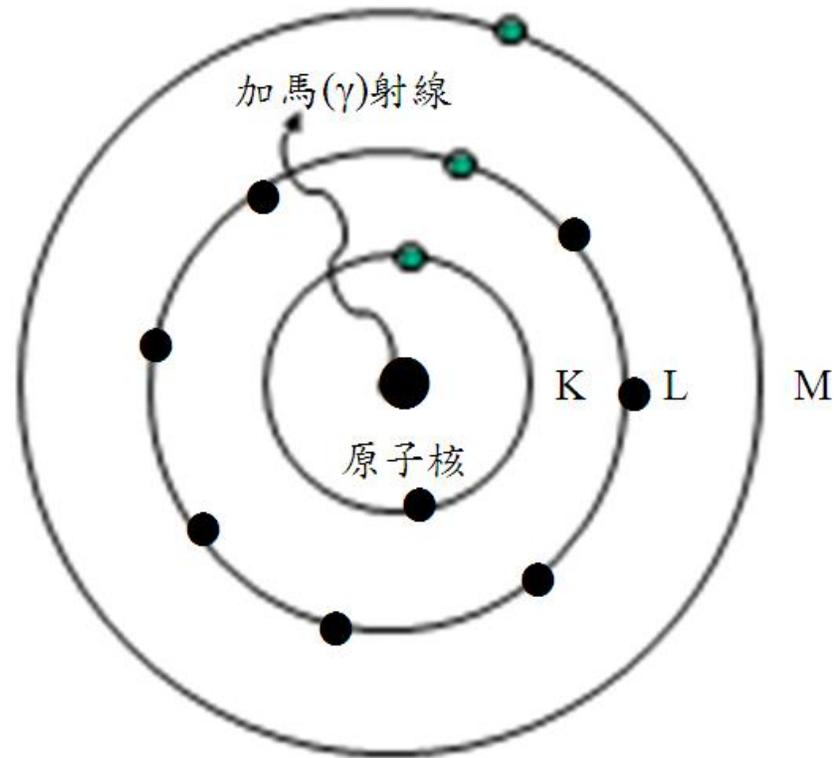
特性輻射的產生機制



特性 x 射線

外層之軌道電子躍遷到內層軌道之電洞，發射出電磁輻射，其能量為兩個電子軌道的能階差，稱為特性輻射或特性x光。

加馬(γ)射線的產生機制



原子核制激過程從核內釋出的電磁輻射稱為加馬(γ)射線。

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。

(一)吸收劑量：指單位質量物質吸收輻射之平均能量，其單位為戈雷，一千克質量物質吸收一焦耳能量為一戈雷。

(四)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。

吸收劑量(Absorbed dose) D

吸收劑量D：指單位質量物質dm吸收輻射之平均能量 dE_{en} ，其單位為戈雷(Gy)，一千克質量物質吸收一焦耳能量為一戈雷。

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ cGy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad(雷得)}$$

$$1 \text{ R} \approx 1 \text{ cGy (for diagnostic radiology)}$$

(影像診斷學)

戈雷(Gy)

戈雷(Gy)是吸收劑量的國際專用單位(SI 單位)，
等於1焦耳/千克(J/kg)，並取代雷得(rad)。

1 Gy=1 J/kg。

1 Gy的吸收劑量可使水溫升高0.000239 °C。

人類LD50/30天= 4 Gy (全身)。[30天內有50%死亡的致死劑量(lethal dose)]

人類不孕劑量為性腺劑量4 Gy。

放射治療的分次劑量通常為2 Gy。

英國人戈雷(Louis Harold Gray, 1905-1965)。
1964年榮獲柏特尼爾(Betrner)獎章。



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。

(二)等效劑量：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，射質因數依附表一之一(一)規定。

(三)個人等效劑量：指人體表面定點下適當深度處軟組織體外曝露之等效劑量。對於強穿輻射，為10毫米深度處軟組織；對於弱穿輻射，為0.07毫米深度處軟組織；眼球水晶體之曝露，為3毫米深度處軟組織，其單位為西弗。

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。

(五)等價劑量：指器官劑量與對應輻射加權因數乘積之和，其單位為西弗，輻射加權因數依附表一之一(二)規定。

(六)約定等價劑量：指組織或器官攝入放射性核種後，經過一段時間所累積之等價劑量，其單位為西弗。一段時間為自放射性核種攝入之日起算，對十七歲以上者以五十年計算；對未滿十七歲者計算至七十歲。

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。

(七)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，其單位為西弗，組織加權因數依附表一之二規定。

(八)約定有效劑量：指各組織或器官之約定等價劑量與組織加權因數乘積之和，其單位為西弗。

西弗(Sv)

西弗(Sv)為等效劑量的國際專用單位，
等於1焦耳/千克，以取代侖目(rem)。
西弗(Sv)僅可用於人。

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

$$1 \text{ Sv} = 1000 \text{ mSv}$$

$$1 \text{ R} \approx 10 \text{ mSv (for diagnostic radiology)}$$

瑞典人西弗(Rolf Maximilian Sievert, 1896-1966)於
1956-1962擔任國際放射防護委員會(ICRP)主席。



CT檢查與放射診斷檢查的有效劑量 (effective dose)

(ICRP No.87,2001)(UNSCEAR2000指出每人每年背景輻射劑量為2.4 mSv)

CT(電腦斷層)檢查	有效劑量 (mSv)	放射診斷檢查	有效劑量(mSv)
頭Head	2	頭顱Skull	0.07
胸部Chest	8	胸部Chest PA	0.02
腹部Abdomen	10-20	腹部Abdomen	1.0
骨盆Pelvis	10-20	骨盆Pelvis	0.7
		鋇吞劑 Ba swallow	1.5
		鋇灌腸劑 Ba enema	7

等效劑量(Dose equivalent) H

等效劑量H：指人體組織或器官之吸收劑量D與射質因數Q之乘積。等效劑量之單位為西弗(Sv)。

用於輻射防護之射質因數Q為：

X、 γ 、 β 、電子之射質因數 $Q=1$ 。

中子、質子之射質因數 $Q=10$ 。

α 之射質因數 $Q=20$ 。

熱中子之射質因數 $Q=2.3$ 。

等效劑量(Dose equivalent) H

等效劑量 $H(\text{Sv}) = D(\text{Gy}) \times Q$ 。

任何能量的X光、 γ 射線或 β 粒子、電子，1 Gy的吸收劑量等於1 Sv的等效劑量。

中子1 Gy的吸收劑量等於10 Sv的等效劑量。

熱中子1 Gy的吸收劑量等於2.3 Sv的等效劑量。

α 粒子1 Gy的吸收劑量等於20 Sv的等效劑量。

個人等效劑量 $H_p(d)$

個人等效劑量：指人體表面定點下適當深度處軟組織體外曝露之等效劑量。個人等效劑量為作業量。

對於強穿輻射，為10毫米(mm)深度處軟組織；對於弱穿輻射，為0.07毫米深度處軟組織；眼球水晶體之曝露，為3毫米深度處軟組織，其單位為西弗(Sv)。

個人等效劑量：以 $H_p(d)$ 表示，指人體表面定點下適當深度處軟組織體外曝露之等效劑量，單位為西弗(Sv)。

器官劑量(Organ dose) D_T

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(Gy)。

器官劑量：指單位質量之組織或器官吸收輻射之平均能量。人體某一特定組織或器官T內的平均吸收劑量。以 D_T 表示，單位為戈雷(Gy)。

等價劑量(Equivalent Dose) $H_{T,R}$

等價劑量：指器官劑量 D_T 與對應輻射加權因數 W_R 乘積之和，其單位為西弗，輻射加權因數如下表所示。

$$H_{T,R} = \sum D_T \times W_R。$$

任何能量的X、 γ 光子或 β 粒子、電子，1 Gy的器官劑量等於1 Sv的等價劑量。

中子1 Gy的器官劑量等於5-20 Sv的等價劑量。

α 粒子1 Gy的器官劑量等於20 Sv的等價劑量。

輻射加權因數 W_R
(Radiation weighting factor)

輻射種類與能量區間	W_R
所有能量之光子	1
所有能量之電子及 μ 介子	1
中子能量<10千電子伏(keV)	5
10千電子伏(keV)—100千電子伏(keV)	10
>100千電子伏(keV)—2百萬電子伏(MeV)	20
>2百萬電子伏(MeV)—20百萬電子伏(MeV)	10
>20百萬電子伏(MeV)	5
質子(回跳質子除外)能量>2百萬電子伏(MeV)	5
α 粒子，分裂碎片，重核	20

約定等價劑量 (Committed equivalent dose)

約定等價劑量：指組織或器官攝入放射性核種後，經過一段時間所累積之等價劑量，其單位為西弗(Sv)。一段時間為自放射性核種攝入之日起算，對十七歲以上者以五十年計算；對未滿十七歲者計算至七十歲。約定等價劑量為組織或器官的體內劑量(internal dose)評估。

約定有效劑量 (Committed effective dose)

約定有效劑量：指各組織或器官之約定等價劑量 H_T 與組織加權因數 W_T 乘積之和，其單位為西弗(Sv)。

約定有效劑量：指攝入放射性核種所造成的全身體內劑量。

集體有效劑量 (Collective effective dose)

集體劑量：指特定群體曝露於某輻射源，所受有效劑量之總和，亦即為該特定輻射源曝露之人數與該受曝露群組平均有效劑量之乘積，其單位為人西弗(man-Sv)。

集體有效劑量：指特定群體曝露於某輻射源，所受有效劑量之總和，其定義為受到該特定輻射源曝露的人數乘該受曝露群組的平均有效劑量。對於一給定的輻射源受照群體所受的總有效劑量 S ，單位為人西弗(man-Sv)。

周圍等效劑量 (Ambient dose equivalent)

周圍等效劑量：由國際輻射單位與度量委員會(ICRU)所定義，為地區監測之作業量。指輻射場中指定點之等效劑量，其定義為相應之擴展齊向場在人體組織等效球內逆齊向場之徑向，自球面起算深度軟組織處所產生之等效劑量。以 $H^*(d)$ 表示，單位為西弗(Sv)。周圍等效劑量為作業量。

對於強穿輻射， d 取10毫米；

對於弱穿輻射， d 取0.07毫米；

若考慮眼球水晶體之曝露， d 取3毫米。



<https://www.youtube.com/watch?v=WeZ6iUoMJC4&list=PL5-hsp8V3I7hp0-Nc2Vb38f0YW31qU-3V>



02

介紹可分裂物質
及放射性核種

^{233}U

鈾 ^{233}U 必須用鈷 ^{232}Th 作原料，在原子爐（核反應器）中經中子轟擊發生 $^{232}\text{Th}(n, \gamma)^{233}\text{Th}$ 捕獲反應後，再經2次 β^- 衰變就能得到 ^{233}U 。

^{233}U 生成反應為：



$^{233}\text{Th}(t_{1/2}=22.3 \text{ min})\beta^-$ 蛻變為 ^{233}Pa 。

$^{233}\text{Pa}(t_{1/2}=27.0 \text{ d})\beta^-$ 蛻變為 $\rightarrow ^{233}\text{U}$ 。

^{233}U

鈾233為 α 發射體(α emitter)， ^{233}U 進行 α 蛻變， ^{233}U 的半衰期 $t_{1/2}$ 為 1.592×10^5 年。

用鈾233作核燃料的優點是其在熱中子或快中子射束中都可能實現較大的轉換比，有利於生產更多的核燃料，使地殼中存在的鈷($_{90}\text{Th}$)資源得到利用。

^{233}U

鈾233生成時常伴隨有相當量的鈾232。

鈾232子核中包含着具有強 γ 輻射的核種，在核燃料加工時，會增加技術上的困難。

鈾233和鈾232必須相應地在原子爐中，以中子照鈾238和釷232才能得到，所以也稱次級核燃料。

釷232的半衰期 $t_{1/2}$ 為 1.405×10^{10} 年。

^{235}U

鈾238(^{238}U)約佔總質量百分之99.28，其半衰期 $t_{1/2}$ 為 4.468×10^9 年。

鈾235(^{235}U)約佔總質量百分之0.72，其半衰期 $t_{1/2}$ 為 7.04×10^8 年。



4n+3系列： $^{235}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ 經過7次 α 蛻變、4次 β^- 蛻變。

4n+2系列： $^{238}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ 經過8次 α 蛻變、6次 β^- 蛻變。

4n系列： $^{232}\text{Th} \rightarrow \dots \rightarrow ^{208}\text{Pb}$ 經過6次 α 蛻變、4次 β^- 蛻變。

^{238}U 約佔總質量之99.28%

^{235}U 約佔總質量之0.72%

天然的放射性鈾(uranium, $_{92}\text{U}$)是 ^{238}U (99.2745%)、 ^{235}U (0.7200%)、 ^{234}U (0.0055%)，其中， ^{238}U 的同位素豐度(abundance)最大，而 ^{234}U 是屬於示蹤量(trace quantity)。

^{238}U 與 ^{234}U 屬於鈾系列(uranium series)，而 ^{235}U (AcU)為錒系列(actinium series)的第一個成員。

^{238}U ($4n+2$ 系列)的半化期 $t_{1/2}=4.468\times 10^9$ y， ^{235}U ($4n+3$ 系列)的半化期 $t_{1/2}=7.04\times 10^8$ y。

鈾原料



核能發電是利用鈾 (^{235}U) 或鈾 (^{239}Pu) 元素，當作核燃料的發電模式。

^{239}Pu

^{239}Pu ($t_{1/2}=2.411 \times 10^4$ y) 生成反應為；



^{239}U ($t_{1/2}=23.45$ min) β^- 蛻變為 ^{239}Np 。

^{239}Np ($t_{1/2}=2.356$ d) β^- 蛻變為 $\rightarrow ^{239}\text{Pu}$ 。

混合氧化物核燃料 (MOX fuel, Mixed Oxide Fuel)

混合氧化物核燃料(MOX fuel, Mixed oxide fuel)是一種包含有多於一種可分裂物質的氧化物的核燃料。一般情況下，混合氧化物燃料指的是鈾(Pu)與天然鈾、再處理鈾或耗乏鈾的混合物。

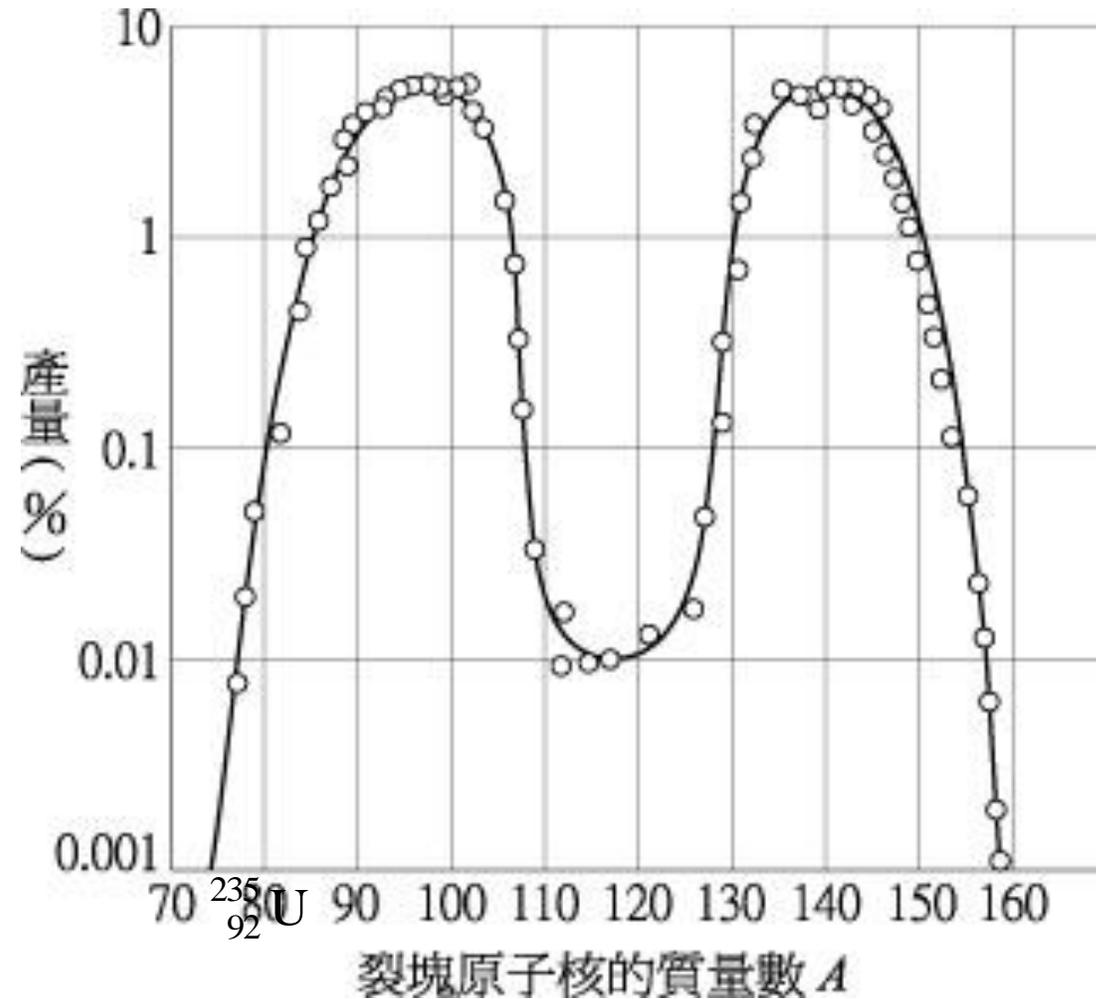
7%的鈾與93%的鈾的混合氧化物燃料與目前用於大多數核反應爐所使用的低濃縮鈾(含3-5%的 ^{235}U)的反應差不多。

目前的核動力反應器主要使用的是輕水式反應器，使用的燃料是低濃縮鈾，而混合氧化物燃料可以作為低濃縮鈾的一種替代品。

混合氧化物核燃料 (MOX fuel, Mixed Oxide Fuel)

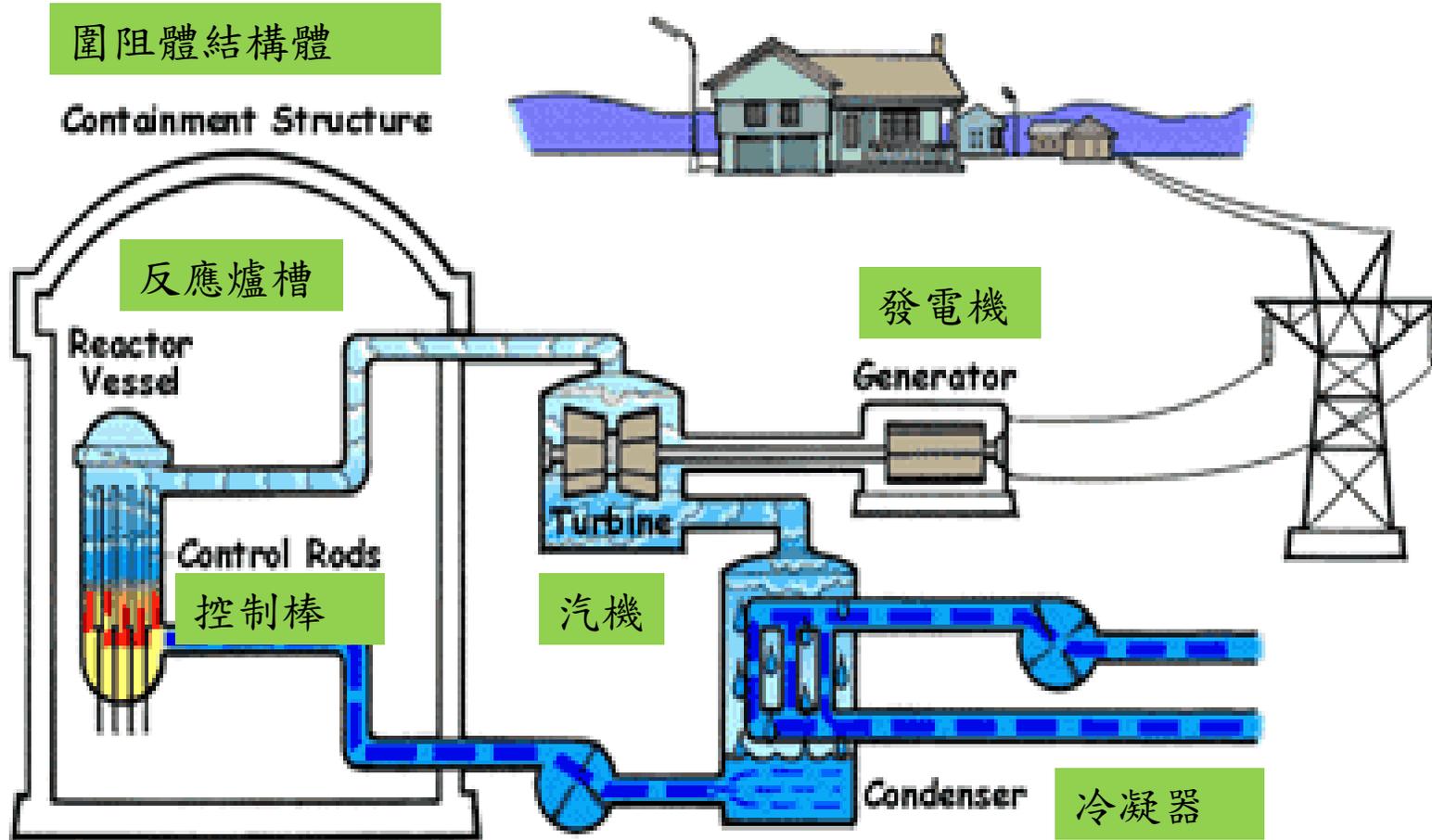
使用混合氧化物核燃料的優勢在於它能夠利用武器級鈾。若武器級鈾不用於製造混合氧化物核燃料，則將會被作為核廢料處置，可能會帶來核擴散的風險。有人認為隨著商用混合氧化物核燃料以及相應的再處理技術的全球化，可能會帶來更大的核擴散風險。

^{235}U 核分裂成兩不等質量的子核

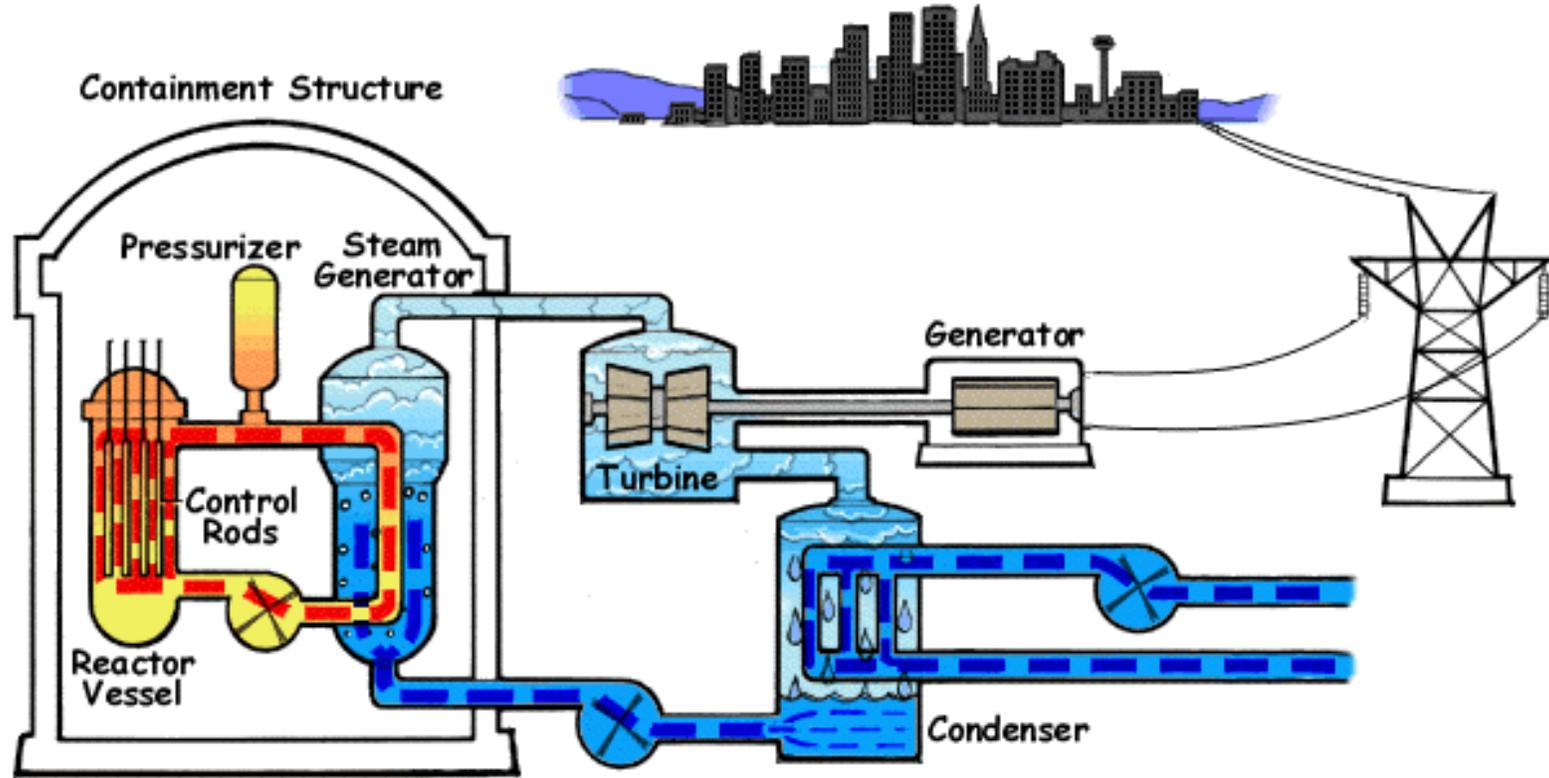


^{235}U 被中子轟擊分裂後，所得裂塊原子核的產量百分比分布曲線。每次 ^{235}U 核分裂約釋出 200 MeV 的能量。

沸水式反應器(BWR)核能發電



壓水反應爐(PWR)核能發電



輕水式核反應器產生鈾(^{239}Pu)



^{239}U 進行 β^- 蛻變後生成 ^{239}Np 。

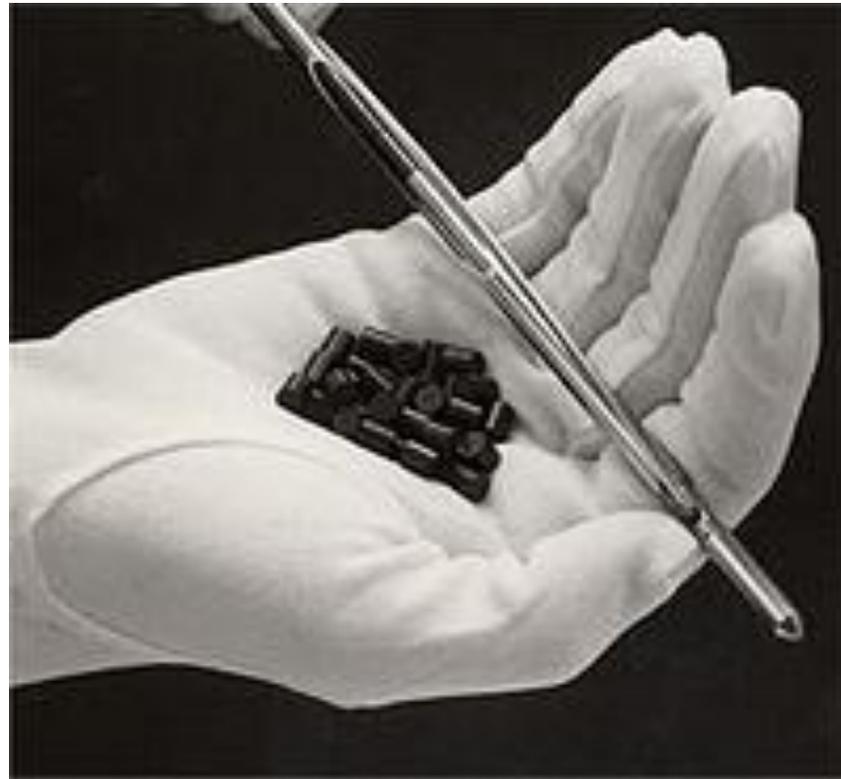
^{239}Np 進行 β^- 蛻變後生成 ^{239}Pu 。

^{235}U 在核反應器中消耗的同時，核燃料中卻產生另一種可分裂物質 ^{239}Pu 。

核燃料再處理的目的在於去除分裂產物，並回收未反應的 ^{235}U 和新生成的 ^{239}Pu ，以便重作核燃料予以使用，這是核能材料的有效利用不可缺少的一個步驟。

核燃料

-核燃料是一種緊密，不活潑，不能溶解的固體



UO₂燃料丸(fuel pellet)



核能電廠所用的燃料為了承受運轉時1000°C以上的高溫，特別將鈾做成二氧化鈾(UO₂)的粉末，再燒結成直徑與高度均為1.6 cm左右的柱狀「燃料丸」，然後再將燃料丸放入長約3.86 m，厚約0.8 cm的鋯合金管內，做成燃料棒。

位於日本青森縣的鈾濃縮工廠



啟用時間：1992年5月

設計容量：每年1,500噸分離功單位(SWU)。

於2008年7月開始興建離心式分離廠，以增加產量。

截至2009年5月底止，共生產1,587噸分離功單位的六氟化鈾(UF_6)。

註：2007年日本的六氟化鈾總需求量約5,900噸分離功單位。

位於日本青森縣的用過核燃料再處理廠



啟用日期：2009年8月
再處理容量：最高每年800噸鈾，累積已再處理超過500噸鈾。



<https://www.youtube.com/watch?v=DrQiVCM3Hgc&list=PL5-hsp8V3I7hXi5XqdXsDq3Qzda8TrF2>

<https://www.youtube.com/watch?v=2J47Qj0cRng&list=PL5-hsp8V3I7iwmmkJvH1rFvMj8xLNUkPV&index=2>



03

輻射的健康效應、
應用與防護

前言

「游離輻射防護法」

第二條 本法用詞定義如下：

八、曝露：指人體受游離輻射照射或接觸、攝入放射性物質之過程。

「游離輻射防護安全標準」

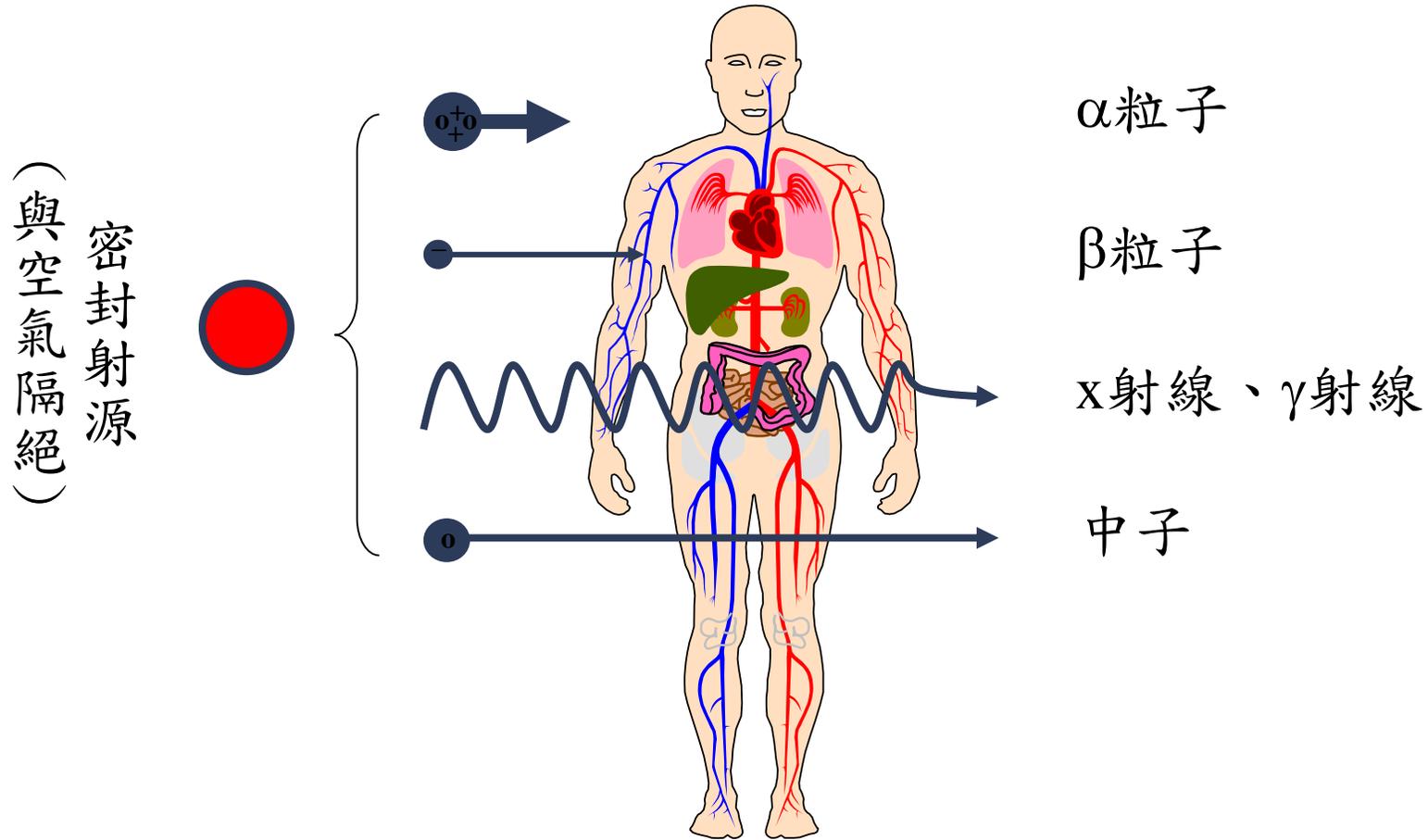
第二條 本標準用詞定義如下：

二、體外曝露：指游離輻射由體外照射於身體之曝露。

三、體內曝露：指由侵入體內之放射性物質所產生之曝露。

什麼是體外曝露？

—輻射源在身體外面，輻射自體外射入身體。



體外輻射防護的原則 (TSD原則)

時間(time, T)：曝露時間要短。

屏蔽(shield, S)：使用適當屏蔽。

距離(distance, D)：距離射源要遠。

體外曝露 防護法則



減少輻射
照射時間



遠離輻射源
(輻射劑量與距離
平方成反比)



加屏蔽阻擋輻射

電壓巔值(kVp)	HVL 鉛(mm)	HVL 水泥(cm)*
50	0.06	0.43
70	0.17	0.84
100	0.27	1.6
125	0.28	2.0
150	0.30	2.24
200	0.52	2.5
250	0.88	2.8
300	1.47	3.1
400	2.5	3.3
500	3.6	3.6
1,000	7.9	4.4
2,000	12.5	6.4
3,000	14.5	7.4
4,000	16.0	8.8
6,000	16.9	10.4
8,000	16.9	11.4
10,000	16.6	11.9

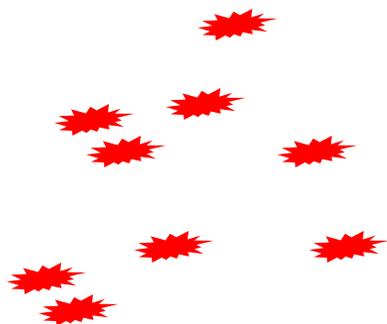
不同kVp的x光寬射束在鉛與水泥屏蔽物質中的半值層(HVL)

不同kVp的x光寬射束
在鉛與水泥屏蔽物質
中的半值層(HVL)

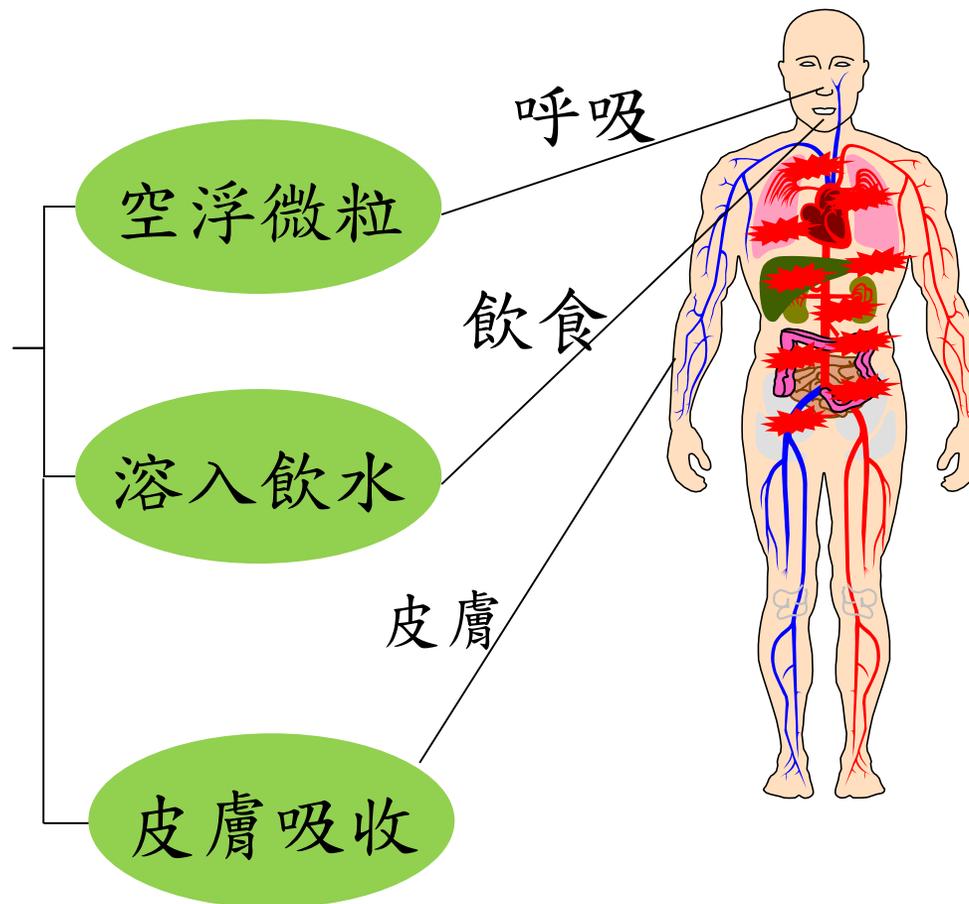
*水泥密度為 2.35 g/cm^3
鉛玻璃的密度為 6.22 g/cm^3
鋼的密度為 7.8 g/cm^3
磚的密度為 1.9 g/cm^3

什麼是體內曝露？

非密封射源
(與空氣接觸)



輻射源污染至
身體內，輻射
自體內射入組
織器官。



體內輻射防護的原則(3D原則)

體內輻射防護(internal radiation protection)
的3D原則為：

- (1)稀釋(dilute)，
- (2)分散(disperse)，
- (3)除污(decontaminate)。

體內曝露 防護法則



避免食入



減少吸入



增加排泄



避免污染



加強除污

曝露劑量的大小才是關心重點

人們生活在曝露於背景輻射中，所以有或沒有接受曝露就不是重點，因為沒有接受曝露並不存在，而曝露劑量的大小才是人們關心重點。



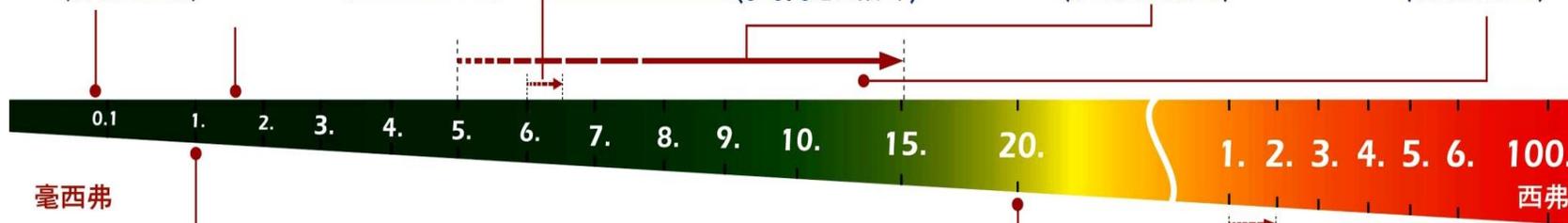
台北往返美國西岸一趟
(0.09毫西弗)

台灣每人接受天然背景輻射劑量
(1.6毫西弗/年)

廣東陽江高天然
背景輻射地區
(6~6.5毫西弗/年)

印度喀拉拉邦
高天然背景輻射地區
(5~15毫西弗/年)

每天抽30支香菸
(13毫西弗/年)



毫西弗

西弗

一般民眾年劑量限值
不含天然背景輻射及醫療劑量
(1毫西弗/年)

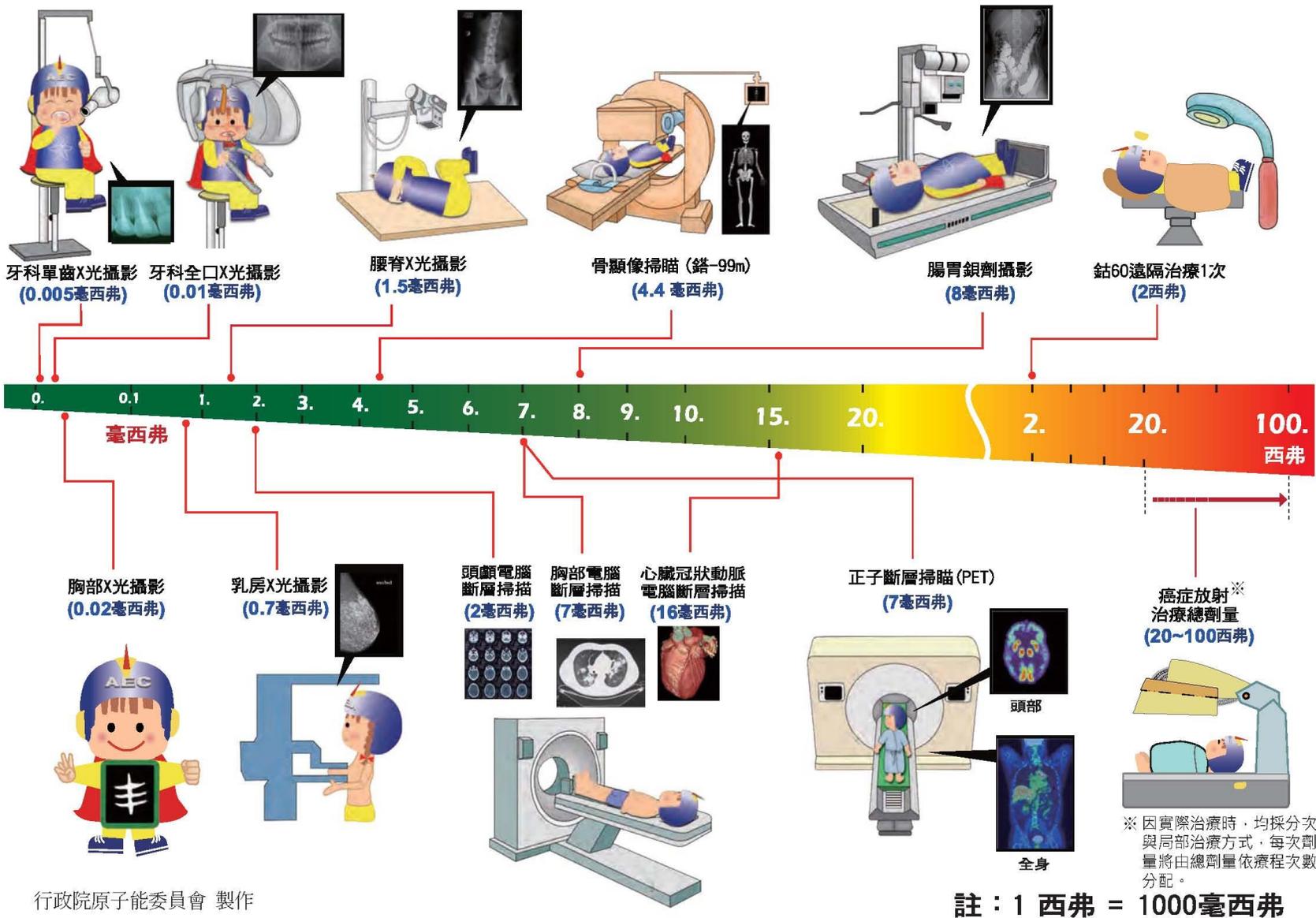
輻射工作人員年劑量限值
(20毫西弗/年)

全身一次急性
曝露1-2西弗：噁心、嘔吐

全身一次急性
曝露>6西弗：死亡



註：1 西弗 = 1000毫西弗



行政院原子能委員會 製作

註：1 西弗 = 1000毫西弗

※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。

X射線繞射儀

(X-Ray Diffraction Metrology, X-Ray Diffractometer , XRD)

X射線繞射儀(XRD)是利用X射線在晶體中的繞射現象來分析材料的晶體結構、晶格參數、晶體缺陷、不同結構相的含量及內應力的方法。

XRD是根據與晶體樣品產生繞射後的X射線信號的特徵，分析計算出樣品的晶體及結構與晶格參數，如晶相的定性與定量分析、晶粒度與內應變的測定、殘餘應力的分析、組織結構測定與結晶度分析等。

XRD可以分析各種材料，包括金屬、陶瓷、半導體等，以及各種薄膜材料、單晶材料、磊晶片等。

X射線繞射儀(XRD)



XRD的光源為X光，其使用X光管，如管電壓為60 kVp、管電流為300 mA、功率為18 kW，其屬於登記備查類可發生游離輻射設備。

X射線繞射儀(XRD)



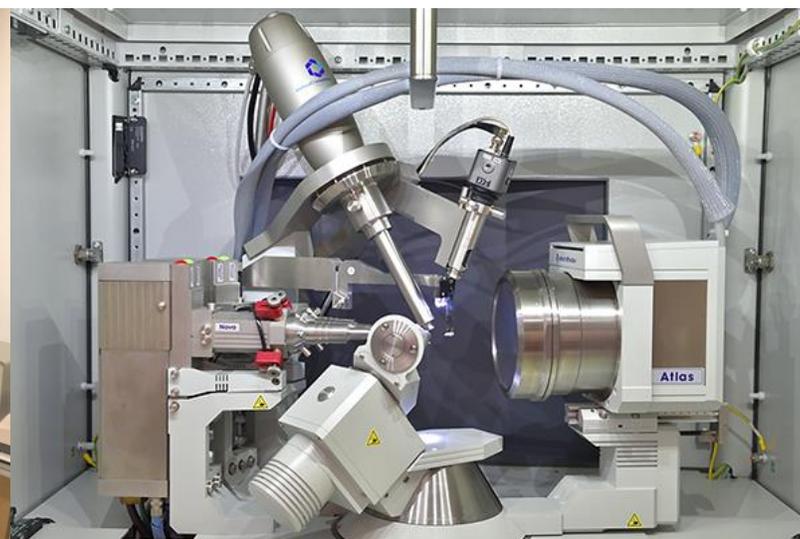
XRD使用X光管，如管電壓為45 kVp、管電流為40 mA、功率為1.8 kW，其屬於登記備查類可發生游離輻射設備。

X射線繞射儀(XRD)

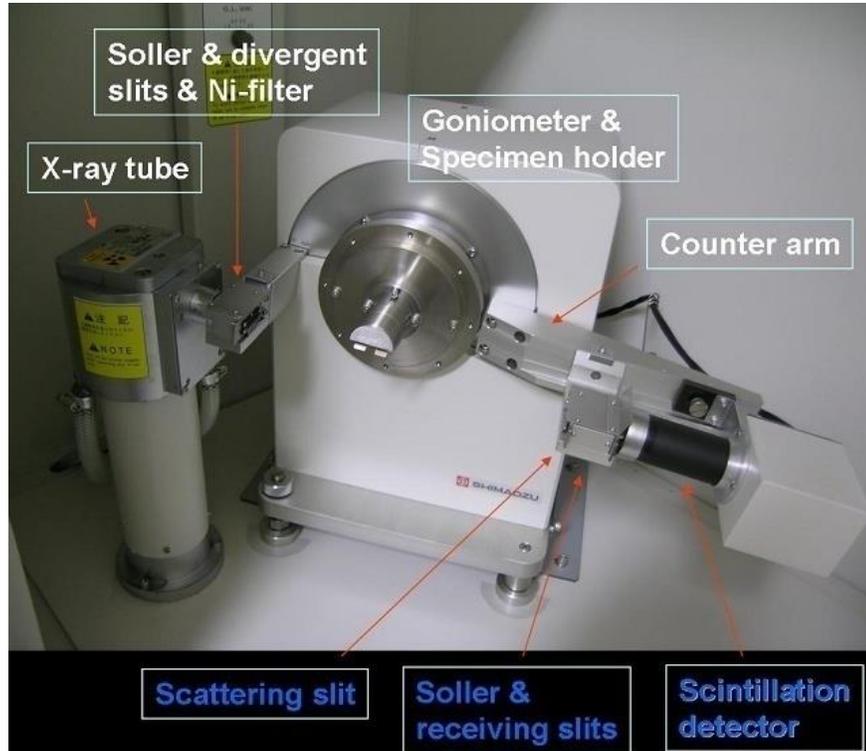


Shimadzu XRD-6000型X-光繞射儀之X光管(X-ray tube)、X光調焦用平行板狹縫(soller slits)、X光射向樣品前(divergent slit)和射入偵測器前之狹縫裝置(scattering slit)、測角儀(goniometer)、樣品載台、X光偵測器(detector)等配置。

X射線繞射儀(XRD)



特性輻射的產生機制



X射線繞射儀(XRD)的操作資格

X射線繞射儀(XRD)內X光管的管電壓 <150 kV，其屬於登記類可發生游離輻射設備。

操作X射線繞射儀(XRD)的人員應接受以18小時訓練取代輻射安全證書。否則依法處4-20萬罰鍰(游離輻射防護法第四十五條第一項第四款)。

學生於操作X射線繞射儀(XRD)或其他登記備查類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。操作程序及輻射防護講習，時數不得少於三小時。

X射線繞射儀(XRD)的輻射防護

X射線繞射儀(XRD)的裝有安全連鎖裝置，拆卸、開啟X射線繞射儀(XRD)的防護罩時，將自動停止產生輻射。

正常使用狀況下，X射線繞射儀(XRD)可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗以下($<5 \mu\text{Sv/h}$)。

X射線繞射儀(XRD)之外表面有明顯可見的輻射示警標誌，及表示「本儀器內含輻射源，報廢前應經原子能委員會核准」之警語。

X射線繞射儀(XRD)的輻射防護

X射線繞射儀(XRD)的本身就是管制區，X射線繞射儀(XRD)的本身以外就是管制區外，一般人距任何可以接近櫃型X光機外表面5 cm處之劑量率最高不超過 $0.5 \mu\text{Sv/h}$ ($\leq 0.5 \mu\text{Sv/h}$)。

若未達此一標準($\leq 0.5 \mu\text{Sv/h}$)，則測量劑量率不超過 0.5 Sv/h 的區域，以為一般人可以活動的區域。

X射線繞射儀(XRD)的可以放置在一般人操作的作業場所。管制區外 $> 0.5 \mu\text{Sv/h}$ 者需附符合劑量限度說明，而管制區內人員居佔位置 $\geq 10 \mu\text{Sv/h}$ 者需附符合劑量限度說明。



<https://www.youtube.com/watch?v=kTob3CxPsxY>

<https://www.youtube.com/watch?v=45nGFGob0LY>