

# 核化學

---

The Nucleus and  
Nuclear Chemistry

# 原子核的質子數與中子數

---

${}^A_Z X$     Z : atomic number = # of proton  
                  A : mass number =  $\sum$  proton + neutron  
                  質量數 = 質子數與中子數的和

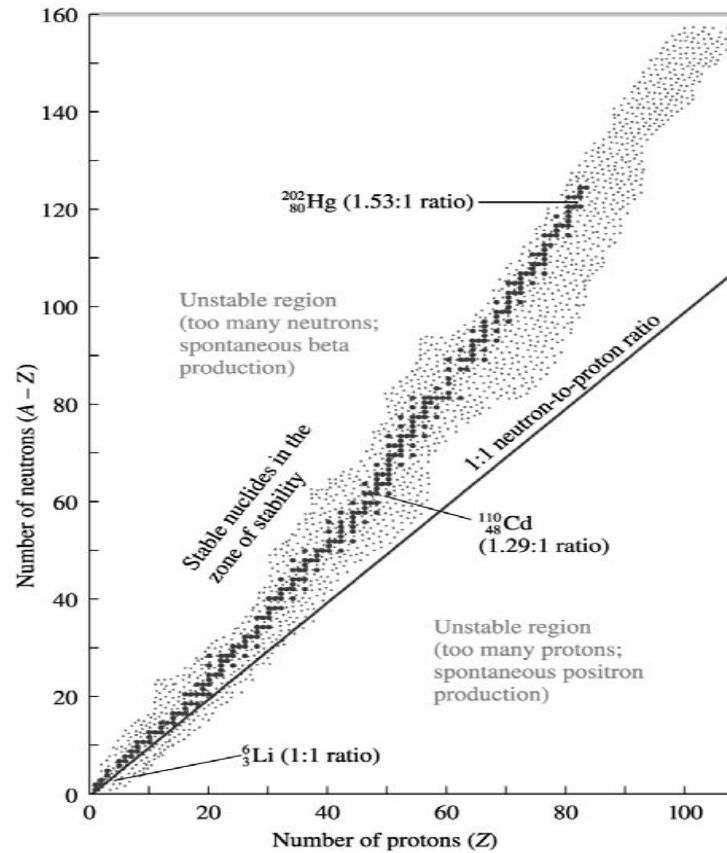
${}^A_Z X : {}^{A'}_{Z'} X, Z=Z', A \neq A'$  isotope 同位素：質子數相同，質量數不同

p. n. : nucleons     $\left[ \begin{array}{l} \text{nuclide} \\ \text{nucleus 原子核} \end{array} \right]$

---

# Neutron-proton ratio

- Neutron-proton ratio and Nuclear stability



# 質子與中子的比值與原子核的穩定性

---

- 輕的元素  $n/p=1$
  - 重的元素  $n/p>1 \sim 5:3$
  - 中子提供原子核結合力使許多帶正電的質子緊密的結合在一起
  - $Z>83$ 之後,再多的中子亦無法維持原子核穩定性  
所以 $Z>83$ 的元素皆為不穩定的放射性元素(radioactive element)
  - 穩定區以上的元素，質子轉換成中子  $p \rightarrow n$   
穩定區以下的元素，中子轉換成質子  $n \rightarrow p$
-

# 穩定的原子核 Stable Nuclide

Z	A-Z	Stable Nuclide	Examples
Even	Even	168	${}^{12}_6\text{C}$ ${}^{16}_8\text{O}$
Even	Odd	57	${}^{13}_6\text{C}$ ${}^{47}_{22}\text{Ti}$
Odd	Even	50	${}^{19}_9\text{F}$ ${}^{23}_{11}\text{Na}$
Odd	Odd	4	${}^2_1\text{H}$ ${}^6_3\text{Li}$ ${}^{10}_5\text{B}$ ${}^{14}_7\text{N}$

□ Magic number (Z): 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126

He O Ca

${}^4_2\text{He}$  : Doubly magic

${}^{50}_{50}\text{Sn}$  : 10 isotopes

${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb}$   ${}^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb}$

${}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{207}_{82}\text{Pb}$

# 原子核的穩定性與在宇宙中的存量

---

- 宇宙存量cosmic abundance and nuclear stability
  - Light elements are more abundant than heavy elements
  - Even atomic number are more abundant than odd atomic number
  - 假設存量代表穩定性  
最豐富的元素(H除外)均具有偶數的質子,中子  
地球內86%的原子具有偶數的mass number
  - Magic number 2, 8, 20, 28, 50, 82(126 neutron)  
He O Ca Pb(114 protons)
-

# 原子核的殼層結構

---

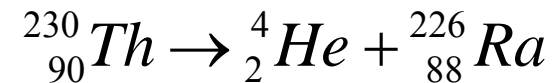
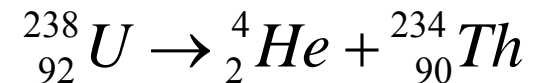
- Shell model of the nucleus :
- p, n exist in levels (shells)
- Analogous to the shell structure of electron

$\alpha$  particle 放射證明  ${}^4_2\text{He}$  是 stable nuclei

{ 2 protons  
2 neutrons

${}^{208}_{82}\text{Pb}$  82 protons

208-82=126 neutrons



## Radioactivity 放射線的種類 基本的放射線

${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}^{222}\text{Ra} + {}_2^4\text{He}$	alpha	${}_2^4\alpha \quad {}_2^4\text{He}^{+2}$	$Z > 83$
${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + {}_{-1}^0e \quad {}_6^{14}\text{C} \rightarrow {}_7^{14}\text{N} + {}_{-1}^0e$	beta	$\beta^- \quad {}_{-1}^0\beta \quad {}_{-1}^0e$	$N/Z$ Too large
${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + {}_1^0e \quad {}_{43}^{95}\text{Tc} \rightarrow {}_{42}^{95}\text{Mo} + {}_1^0e$	positron	$\beta^+ \quad {}_{-1}^0\beta \quad {}_{-1}^0e$	$N/Z$ Too Small
	proton		$N/Z$ Too small
	neutron	$\rho \quad {}_1^1\rho \quad {}_1^1\text{H}$	
	neutrino	$n \quad {}_0^1n$	
	Antineutrino	$\bar{\nu} \quad {}_0^0\bar{\nu}$	
	electron capture	$\bar{\nu} \quad {}_0^0\bar{\nu}$	EC
${}_1^1p + {}_{-1}^0e \rightarrow {}_0^1n \quad {}_{19}^{40}\text{K} + {}_{-1}^0e \rightarrow {}_{18}^{40}\text{Ar}$	$\gamma$ Emission		Excited state

$$h\nu; {}_0^0\gamma$$



<γ - Decay #>

原子核 粒子經 α, β decay後還停留在激發態, 回到基態會放出 γ ray

1~ 0.001nm wavelength 10<sup>-12</sup>m 波長

X-ray 是電子由激發態回到基態放射的輻射

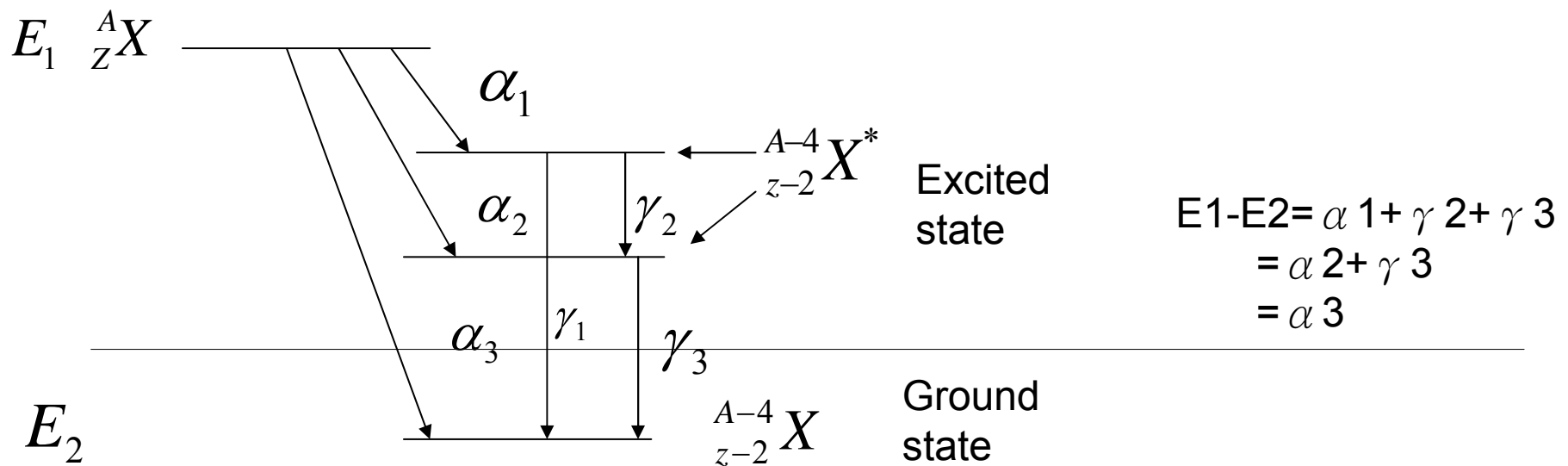
Wavelength > 1nm (lifetime~10<sup>-9</sup>s)



Excited  
state

Ground  
state

m: metastable



# $\beta$ decay (electron emission, positron emission, electron capture)

穿透力比  $\alpha$  大 3Mev =>

$\beta^-$  射線需要 0.5mm厚的Al才能阻擋  
 $\alpha$  射線只要 0.015mm厚的Al板即可阻擋

(1) Electron emission

neutron  $\rightarrow$  proton +  $e^-$

Emitted along a continuous spectrum of energies

0 ~ max ( nucleide )

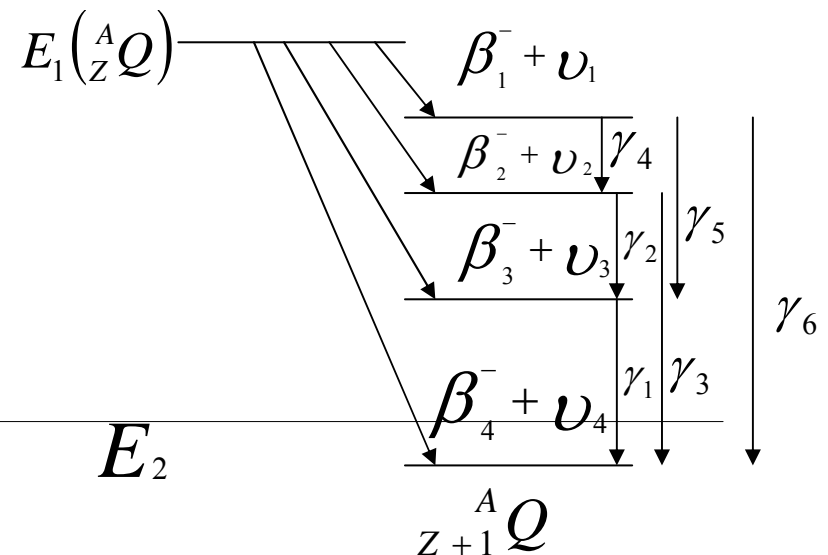
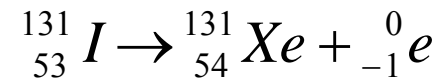
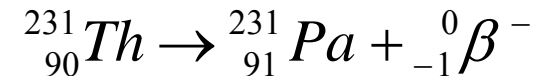
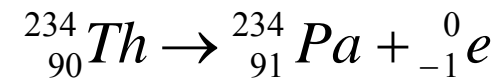
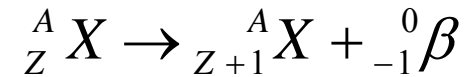
放射後會再放出  $\gamma$  ray 表示有激發態

但為何能階是連續的, 因為有  $\bar{\nu}$  antineutrino particle (反微中子粒子) 的放射

$\nu$  neutral: massless particle

${}_{-1}^0\beta$  與  $\bar{\nu}$  Antineutrino 同時發生

${}_{-1}^0\beta$  與  $\nu$  Neutrino 同時發生



$\gamma$  Ray 穿透力強,約需5~11cm的Al才能阻斷 1~10MeV的  $\gamma$  ray約為  $\beta$  射線的100倍  
 原子在excited state 的lifetime約為nsec  
 的範圍,如果長於nanosec則稱為isomer  
 而放射現象稱為iosmeric transition

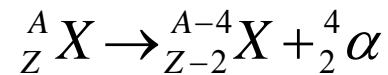
---

阿爾發粒子衰變

$\alpha$  decay 在  $z > 83$  或  $A > 200$  (nuclide)  
 的原子核

that is too heavy

$\alpha$  粒子的原子數 4 原子序 2

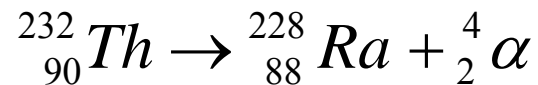


$\alpha \rightarrow$  single energy or one of a few specific energy

證明 $\Rightarrow$ existence of energy level within the  
 nucleus

穿透力弱,用紙張即可阻斷(1-10MeV  $\alpha$  射線)

或 $10^{-3}$  mm的Al板



$\beta$  particle       $\gamma$ -ray



$\alpha$  particle    +2 change

---

# 核融合的燃料

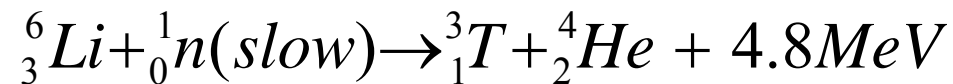
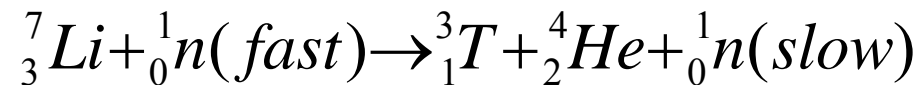
---

D ( ${}^2_1H$ ) 的來源

水8加崙可以提煉 1 g D  $\Rightarrow$  產生融合反應提供2500加崙汽油能量

T ( ${}^3_1H$ ): Radioactive  $t_{1/2} = 12.3 \text{ year}$

可以由 n+Li製造



Shield : heat exchange

Magnet shield : blanket plasma

Li+ n  $\rightarrow$   $\alpha$  + T

---

# 衰變速度與半衰期

---

- 放射性同位素的蛻變率(或輻射強度)是一種一級的化學反應。輻射強度會隨時間的增加而遞減。輻射強度每減少一半所需要的時間稱為半衰期(或半生期)。各放射性同位素的半衰期都是固定，而且絕大部分都不相同，有如人的指紋一般。例如國內發現的輻射鋼筋內所含 $^{60}\text{Co}$ 的半衰期為5.26年，空氣中 $^{222}\text{Rn}$ (氡)的半衰期為30.82天。

而計算放射性元素的衰變速率的方程式與一的一級化學反應方程式類似。

$$\text{衰變速率} = A = \lambda N \quad (\lambda : \text{衰變常數}, N \text{元素的數目})$$

因此在計算元素半衰期時，我們可以利用以下方法：

$$\ln(N_t / N_0) = -\lambda t \quad \text{和} \quad t_{1/2} = 0.693 / \lambda$$

在考古學鑑定方法中，常被使用的一種方法是碳十四(C-14)定年法。它是利用測量古生物或是生物遺骸內所含有 C-14同位素的含量，來鑑定其年代。

---

# 碳14定年法的原理

---

當宇宙射線在進入地球時，會與大氣中的氮產生核反應，因為中子撞擊氮，使得 $^{14}\text{N}$ 接受一個中子而成為具有放射性的 $^{14}\text{C}$ 。

而整個生物圈的物質與能量循環，是依靠初級生產者吸收大氣中的含碳化合物，將其固定再生物體內，再轉換成各種形式的物質分佈到生物體內。

因此對活著的生物而言，其 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 的比值約為 $1/10^{12}$ 。

可是當生物死亡或是不再參與整個碳的循環時，其樣品內 $^{14}\text{C}$ 的衰變速率就會開始下降。

因此利用 $^{14}\text{C}$ 的半衰期為5730年，以及在活生物體內 $^{14}\text{C}$ 的衰變速率為15.3 disintegration/min·g這兩個條件，加上擬鑑定古生物物質目前的衰變速率，就可以計算出古生物的年代，無生命活動跡象時間大略是多久之前。

---

# 放射線計數器

---

**Geiger counter**

Argon gas

window

Counter

Resistance

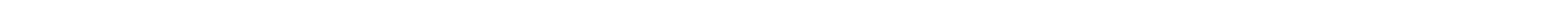
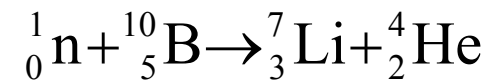
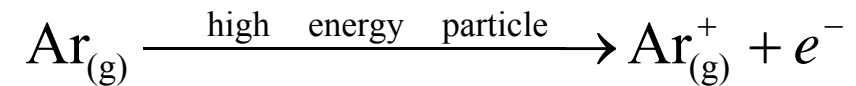
particle

high voltage

±7±

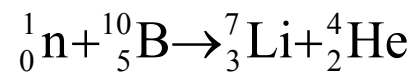
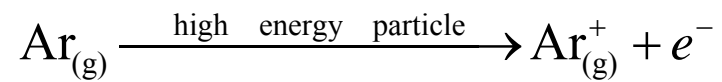
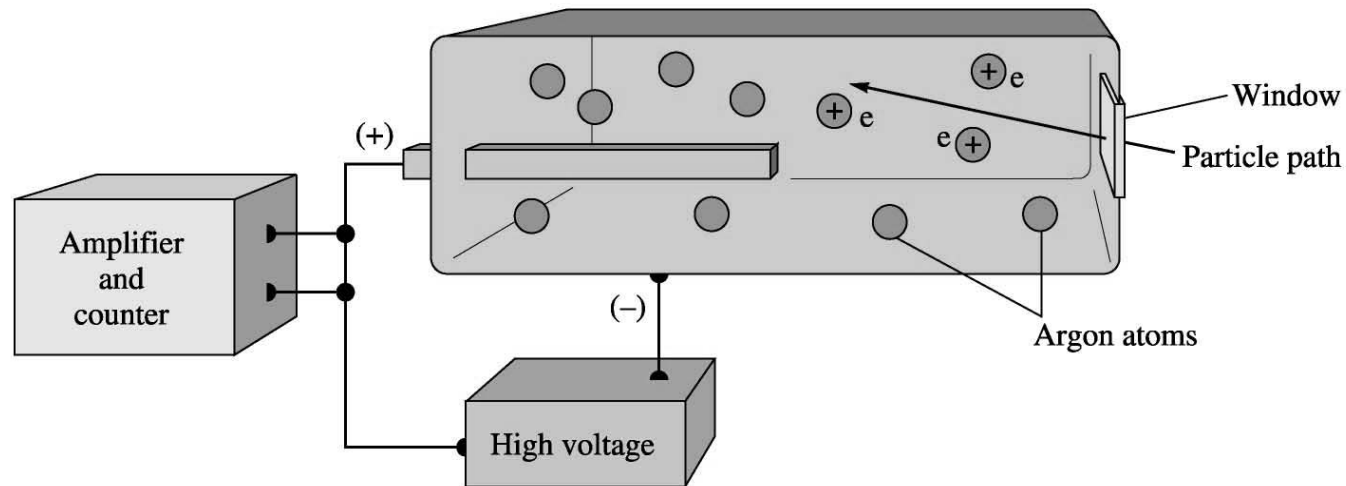
$\alpha$ 、 $\beta$  — Ar, gas

$n \rightarrow \text{BE}_3$  added



# 放射線計數器 Geiger counter

---





# 放射線計數器

---

Scintillation counter

photocathode photomultiplier tube

window

$\alpha, \gamma, \beta$  rays

Phosphor

NaI

Electron Beam

photocathode :

photoelectric-sensitive surface

ZnS  $\rightarrow \alpha$

NaI + ThI  $\rightarrow \gamma$

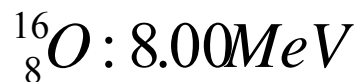
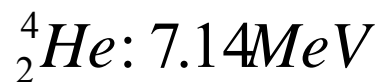
---

# 原子核的結合能

## Nuclear Binding Energy

---

- $E = mc^2$
- 原子核密度： $1.6 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3$
- 原子核半徑(nucleus)： $10^{-13} \text{ cm}$
- 原子半徑(atom)： $10^{-8} \text{ cm}$
  
- Coulomb force =  $k (q_1 \cdot q_2) / r^2$
- nuclear force  $\approx 30 \sim 40 \times$  coulomb force (庫倫力)  
(核結合力)  
a distance of about  $10^{-13} \text{ cm}$
- Binding Energy per Nucleon :



# 原子核的結合能

## Nuclear Binding Energy

---

□ mass of atom  $\neq \sum e^- + p^+ + n$

■ 1 joule = 1 kg m<sup>2</sup>/sec<sup>2</sup>

■ Difference in mass

■ 1 amu = 1.6605655 x 10<sup>-27</sup> kg = 931.5017 MeV

${}_{20}^{40}\text{Ca}$  : 39.96259 amu

n: 1.008665 amu

p: 1.007825 amu.

---

# 原子核的結合能

## Nuclear Binding Energy

---

$$\square \quad \Delta m = 39.96259 - (20 \times 1.008665) - (20 \times 1.007825) \\ = 0.36721 \text{ amu}$$

$$\square \quad E = 0.36721 \times 1.6605655 \times (2.9979 \times 10^8 \text{ m/sec})^2 \times 10^{-27} \\ = 5.4804 \times 10^{-11} \text{ J} = 342.06 \text{ MeV}$$

$$\blacktriangleright \quad 1 \text{ MeV} = 1.6021892 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$\blacktriangleright \quad 1 \text{ amu} = 931.5017 \text{ MeV}$$

$$\blacksquare \quad \text{Binding Energy per nucleon: } \frac{342.06}{40} \cong 8.5515 \text{ MeV} / \text{nucleon}$$

$\blacktriangleright$  40 ~ 100 之間的元素 (Fe, Co, Ni)  $\rightarrow$  Highest Binding E/ nucleon

---

# 原子核的結合能

## Nuclear Binding Energy

---

$$\begin{aligned} {}^{16}_8O: & \quad 8 {}^1_0n \quad + \quad 8 {}^1_1p \\ & \quad (8 \times 1.67493 \times 10^{-24} \text{ g}) + (8 \times 1.67262 \times 10^{-24} \text{ g}) \\ & \quad = 2.67804 \times 10^{-23} \text{ g} \end{aligned}$$

$${}^{16}_8O: 2.65535 \times 10^{-23} \text{ g}$$

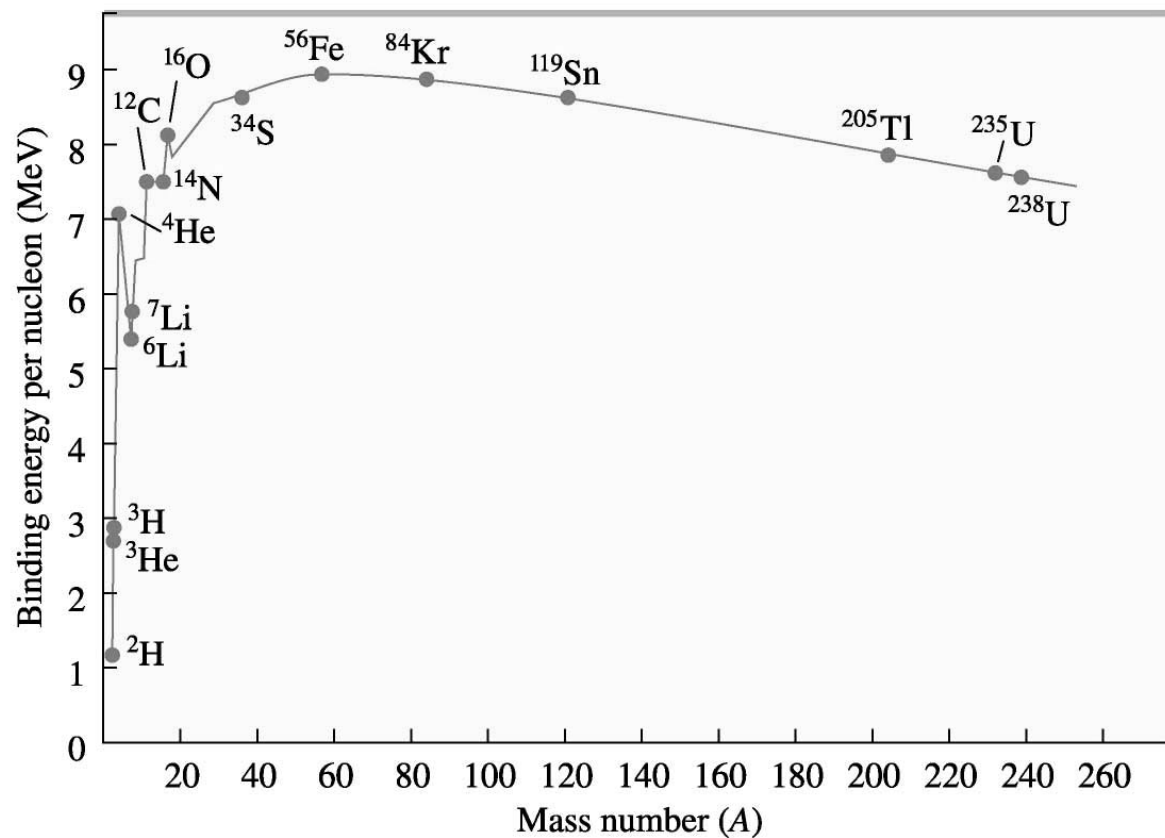
$$\Delta m = -2.269 \times 10^{-25} \text{ g} \quad \text{or} \quad -0.1366 \text{ g/mol} \quad (\text{由 } 6.02 \times 10^{23} \text{ 而來})$$

$$\begin{aligned} E = mc^2 & = (-1.366 \times 10^{-4} \text{ kg/mol}) (3.00 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \\ & = -1.23 \times 10^{13} \text{ J/mol} \\ & = -2.04 \times 10^{-11} \text{ J/nucleus} \quad (1 \text{ MeV} = 1.60 \times 10^{-13} \text{ J}) \\ & = -1.28 \times 10^2 \text{ MeV} \end{aligned}$$

$$\frac{-1.28 \times 10^2}{16} = -8.00 \text{ MeV/nucleon}$$

---

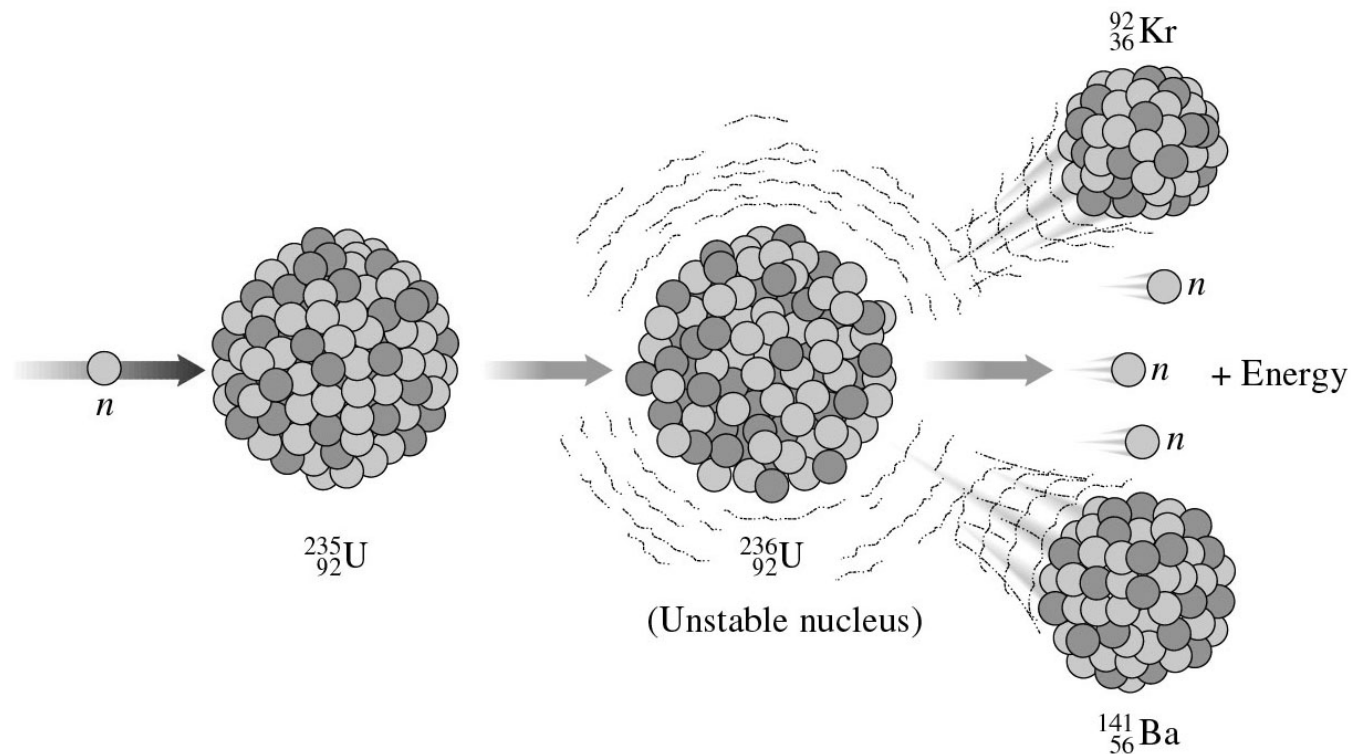
# 原子核的結合能





# 核分裂 Nuclear Fission

---





$^{236}\text{U}$  分裂成兩個原子核一原子數在140左右及另一原子數約90及一些中子可以產生連鎖反應中的分支反應

---

Subcritical , enough  $n$  are lost 中子因無法與U碰撞

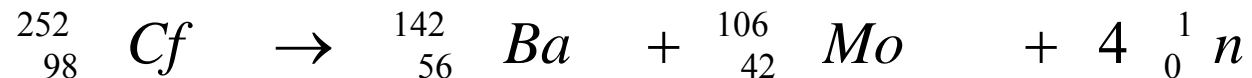
Chain reaction 連鎖反應停止

Critical , maintain a count of fissions 質量密度夠大時,每個U 分裂  
雖然產生2.4個中子但只有一個中子會繼續作用,維持一持續性的分裂  
mass large enough



Super critical ,  $n$  multiplies # of fission

核分裂會因質量密度大而以倍數增加造成連鎖反應並爆炸



- 全球核能發電廠超過430座(提供全球約17%的電能) , 其中約100坐在美國(提供美國約20%的電能)
  - 平均每各電廠會產生20 metric tons 的放射性廢棄物
-

## Light water reactors

Control rod

Light water:: H<sub>2</sub>O coolant and moderator

350°C 150atm 水作用冷卻劑及中子緩和劑

Fuel

也可用D<sub>2</sub>O graphite 石墨

Coolant (water)

H<sub>2</sub>O (neutron moderator)

---

### 1. Fuel

U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> enriched <sup>235</sup>U 2~3% ✓

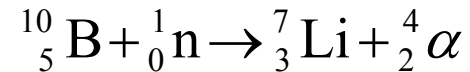
大自然鈾礦中含 <sup>235</sup>U 約 0.7%

Zr coating

### 2. Control System 控制棒

要停止核分裂可以用

B (Boron) or Cd 棒吸收中子



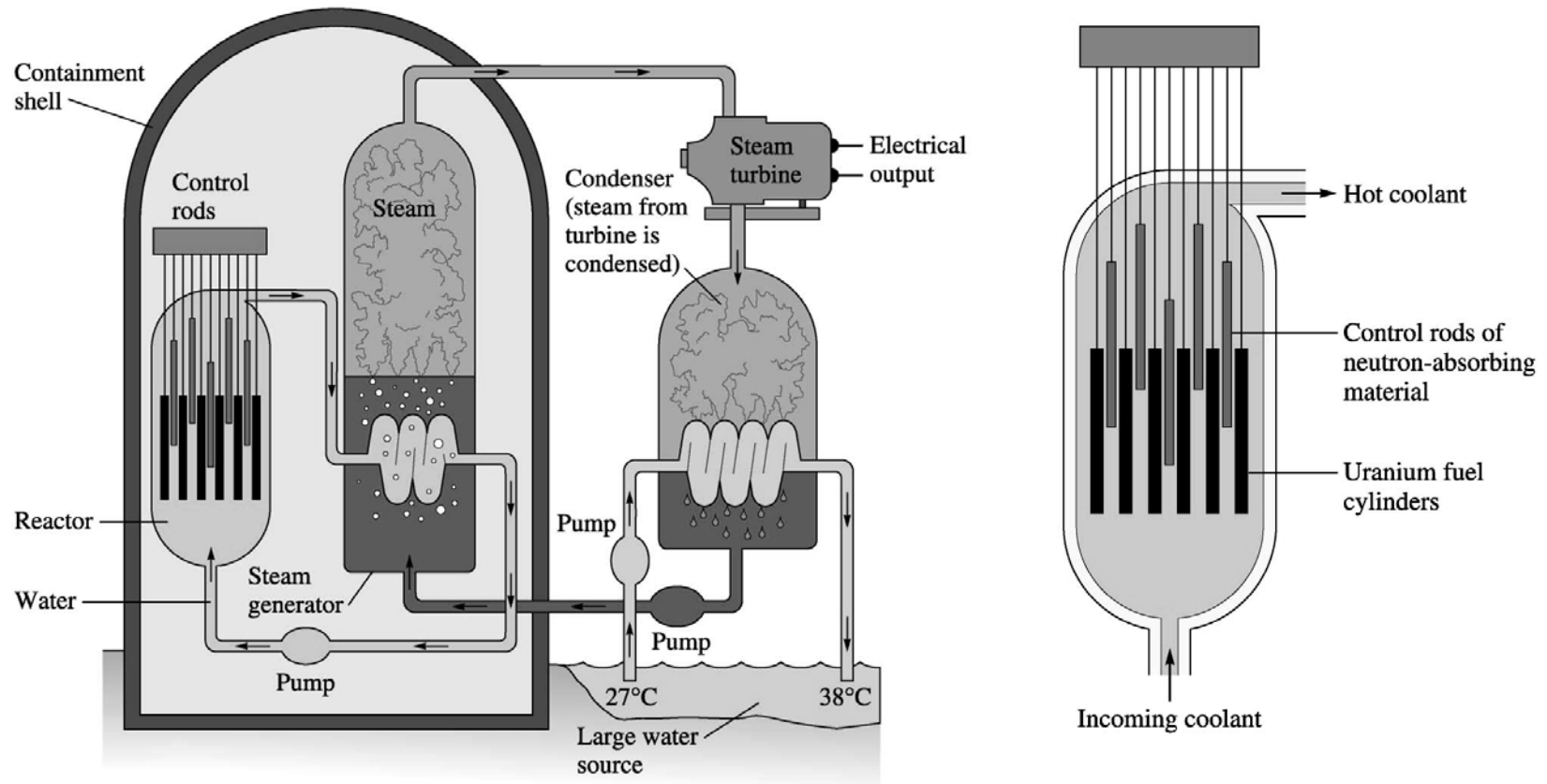
### 3. Moderator 緩和劑

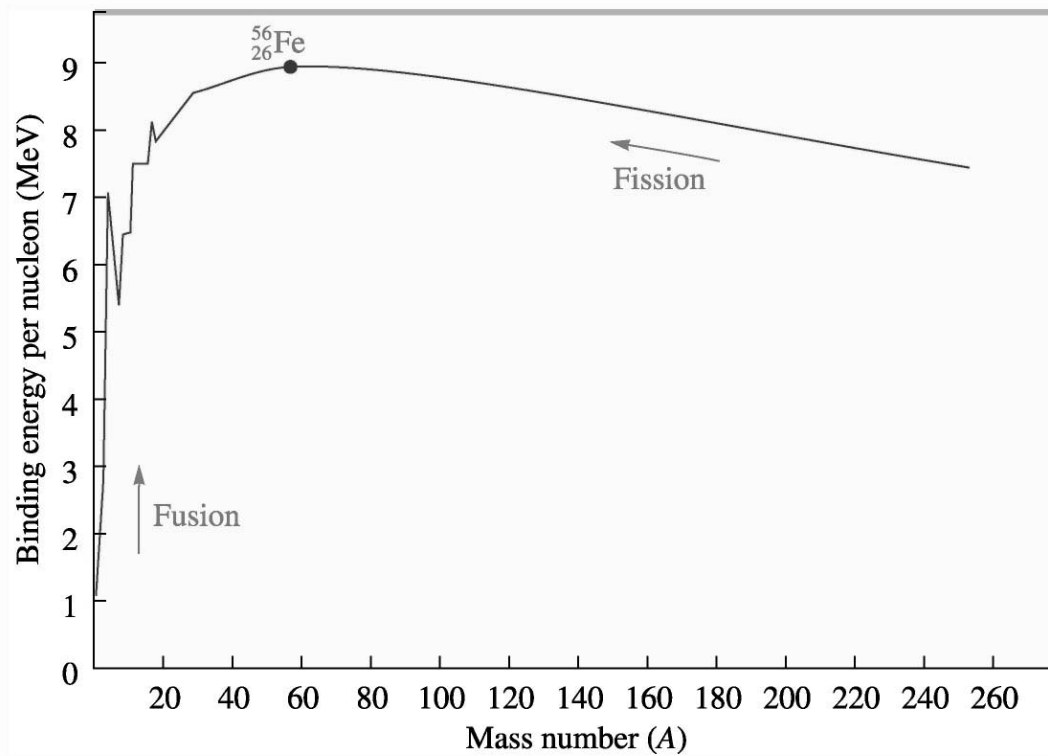
H<sub>2</sub>O, graphite

U核分裂出來的中子速度太快，不能被吸收，緩和劑可以藉碰撞使中子變慢，促使核分裂反應可以有效的發生

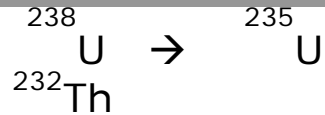
輕水反應器Light water 用 H<sub>2</sub>O，重水反應器heavy water 用 D<sub>2</sub>O，石墨反應器用Graphite C 做緩和劑

# 核能發電廠





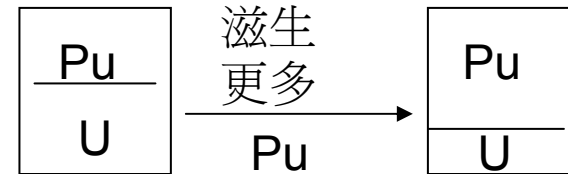
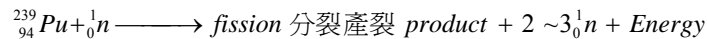
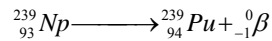
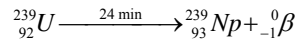
# 滋生反應器 Breeder Reactor



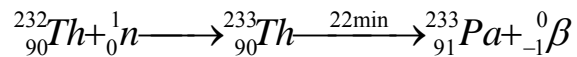
水的臨界點 $374.1^{\circ}\text{C}$ ，  
在 $500^{\circ}\text{C}$ 時水以超臨界 的狀態存在，具有很大的腐蝕性

fast breeder 液態金屬鈉做冷卻劑 ( liq. metal Na ) (鈉沸點 $881^{\circ}\text{C}$ )  
neutron *need not be moderated*  
更好的熱傳導效能(heat conducting better)

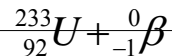
${}^{238}_{92}\text{U} + {}^1_0n \rightarrow {}^{239}_{92}\text{U}$  可以用快中子 *fast nucleon*



${}^{239}_{94}\text{Pu}$  *poisonous (fatal)*



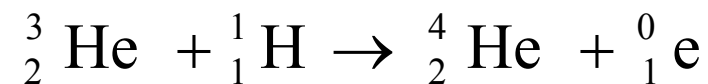
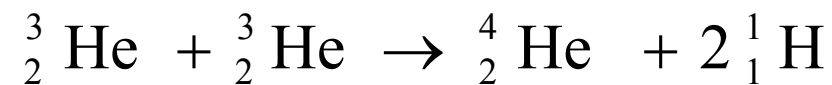
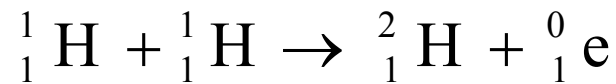
↙ 27天



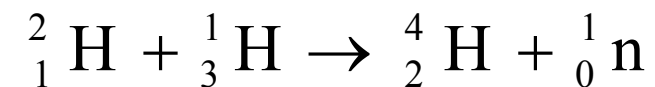
# 核融合 Nuclear Fusion

---

- 兩個鋰的原子核融合成爲較重的原子核也可釋出大量能量
- 許多星球是進行核融合反應產生能量，太陽目前是由73%氫、26%氦及1%其他元素所組成
- 太陽就是藉由氫融合成氦來釋放巨大的能量



最具開發價值的融合反應



海水中可提煉出氫原子(例如  ${}^2_1\text{H}$ )作爲融合的(原)燃料，原料不虞匱乏

---

# 核融合 Nuclear Fusion

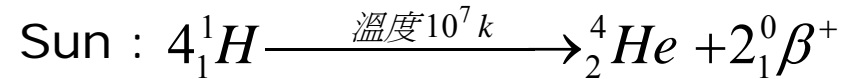
---

因此很多研究工作目前都在尋找可行的核融合反應

最大的困難:引起融合反應需要極高的溫度

原因:質子間有斥力，但卻要將兩個質子放到  $10^{-13}\text{cm}$  以下的距離才會融合  
兩個  ${}^2_1\text{H}$  要碰撞使距離接近  $10^{-13}\text{cm}$ ，至少需要  $4 \times 10^7\text{K}$  的高溫(太陽  $10^7\text{K}$ )

- 兩種方法達到高溫  
① 高功率雷射  
② 用電流加熱
- 此時物質已完全解離形成原子核及電子分開的離子態物質 稱為電漿 (plasma)  
一般容器不能接觸電漿(電漿會迅速失去熱量)
- 故用磁場來作為容器進行核融合反應 => 不會造成放射線污染，因為產生的放射性同位素的半生期都很短



# 原子彈與氫彈Atomic Bomb

---

- 氫彈是一種核融合反應，因爆炸時無法合適的使用其能量，視為一種無法控制的核融合反應。
  - 氫彈先利用核分裂反應達到高溫再引發融合反應。
-



# 輻射的單位

---

□ 輻射的單位分為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，稱為國際系統單位(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)，稱它活度。活度的單位為「貝克」(簡寫為Bq)，它的定義為：

■ 1貝克(Bq)=1蛻變/秒

■ 因此貝克是用來表示一個輻射源，如 $^{60}\text{Co}$ 的強度(蛻變率)。

---

# 輻射的單位

---

## 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)，稱為吸收劑量。吸收劑量的單位是「戈雷」(Gray，簡寫為Gy)，它的定義為

1 戈雷(Gy)=1焦耳/公斤      美制單位為 rad=  $10^{-2}$  焦耳/公斤

每小時平均接受的吸收劑量稱為吸收劑量率，單位為戈雷/小時，它的千分之一為毫戈雷/小時(mGy/h，百萬分之一微戈雷/小時( $\mu$ Gy/h)。

## 3.等效劑量(dose equivalent) , HT

不同種類的輻射( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、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。

---

# 輻射的單位

---

為此，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。它的單純是「西弗」(簡寫成Sv)，定義為：

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

千分之一西弗為毫西弗(mSv)，百萬分之一西弗為微西弗( $\mu$ 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， $\alpha$ 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 $\alpha$ 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( $\mu$ Sv/h)都是等效劑量率的單位。

---

---

#### 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，但是對造成健康損失(罹患致死癌或不良遺傳)的風險(機率)卻不同，因此文訂出「組織加權因數( $W_T$ )」來代表各組織器官對接受輻射對健康損失的機率。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。

rad. (radiation absorbed dose)

amt of radiation that deposits  $1 \times 10^{-2} \text{J}$  of energy 1 kg of tissue.

$\alpha$  : (1rad) 比  $\beta$  (1rad) 造成更多傷害

RBE Relative Biological effectiveness

measure the relative biological damage caused by radiation.

# 輻射線的生物效應

## Biological effect of radiation

---

US system: curies (Ci)居里  $1\text{Ci}=3.7\times 10^{10}\text{dps}$ (每秒分裂電子數)

SI unit : becquerel (Bq)貝克  $1\text{Bq}=1\text{decomposition per sec. (dps)}$

Amount of energy (damage) in the radiation absorbed by living tissue  
活體組織吸收的能量

US : 1Rads (Radiation absorbed dose)=0.01J/kg Tissue

SI : 1Gray (Gy)戈雷=1J/kg of tissue

Amount of biological damage /quality factor 射質因素 : (penetrating ability)

$\beta$ -  $\gamma$ -radiation =1

p- n- (low energy) =5

p- n- (high-energy) =20 or  $\alpha$ -particles

Relative Biological Effect (RBE)

Relative effectiveness of the radiation in causing damage

---

# 輻射的單位

---

- US : rem (roentgen equivalent man) = rads × quality factor  
常用單位 millirem (mrem)
- SI : Sv (sievert) = Gray × quality factor

以美國的單位計 Background radioactivity : 200mrem/year 自然界的背景輻射量

表2.1 輻射的射質因數

輻射種類	平均射質因數
X射線、加馬射線、貝他粒子和電子	1
中子、質子和靜止質量大於一個原子質量單位的單電荷粒子	10
阿伐粒子及多電荷粒子	20

---

資料來源：ICRP-26(1977)

RBE 1 for  $\gamma, \beta$  隨dose rate, total dose type of tissue 改變  
 10 for  $\alpha, H$  fast neutron=5  
 1. x-ray,  $\gamma$ -ray  $\beta$ . (ions)  
 2. 5 slow neutron 20 heavy aton.

---

rems (roentgen equivalent for man) relate various kind of radiation in  
 rems = rad x RBE terms of biological destruction.

每人平均接受 0.1-0.2 rem 輻射劑量  
 background radiation

高此劑量多，磚造房劑量多 (比木造房屋)

短期間接受輻射劑量的反應

0-25 rem	沒有明顯症狀
25-50	白血球會稍稍減少
100-200	嘔吐，噁心，白血球明顯下降
500	30天內 一半的人數會死亡
1000	30天內 100%的人數會死亡

---

X-光 胸部~20-40 millirem

每年不應超過 0.5 rem , 500 millirem —

---

5 rem 最高

			air		5
人體40K	21mrem	每年	earth		(47)
核能發電	0.3mrem	大自然	cosmic ray	52%	100 mrem (50)
Radioactive		X-光		43%	80 mrem (61)
Falloni	4 mrem	U礦同等		2%	4
		核 ???		3%	6

核能發電 0.14% 0.3 mrem

TV 0.02% 0.04 mrem

Building 3 mrem

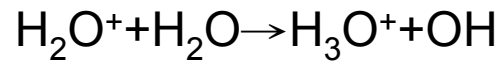
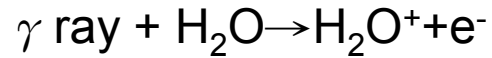
waterial

---



# 輻射線的生物效應

---



OH → radical free radical 自由基

One or more unpaired electron

- 人體的破壞

Somatic damage : affects the organism

During its own lifetime burn , cancer

- 遺傳性的破壞

Genetic damage : genetic effect

Genes 與 chromosomes 長越快越易受損

---

---

Bone marrow ,blood forming tissue

Lymph nodes

⇒leukemia 白血病

SI unit becquerel 1 nuclear/disintegration/sec

Old curie 1g Ra -226  $3.7 \times 10^{10}$  disintegration/sec

5.0 millicurie Co= $5.0 \times 10^{-3} \times 3.7 \times 10^{10}$

= $1.8 \times 10^8$  disintegration/sec

$\gamma$  ray damaged not limited to the skin penetrating

$\alpha$  stop by skin

$\beta$  penetrate  $\sim 1$ cm

---