

放射能與原子塵

王榮舫

Radioactive Energy and Fallout

Yung-fong Wong

Abstract

A detail explanation on the theory of nuclear structure, decay phenomena, artificial isotopes leads to illustrate the hazard of radioactive fallout following by a nuclear detonation.

原子構造

十九世紀下半期以前，人類尚認原子為原素最小單位，不可分裂。現在已知原子組成物，也可藉高能量之

放射性質使已知的原子分裂，使成許多不同原素所共有之組成物，三種基本原子組成物即質子、中子及電子。除氫原子外，為所有已知原素所共有。其餘所謂組成物，皆由放射性原子核或組成物中間相互作用而成。這種作用，稱謂核子反應。

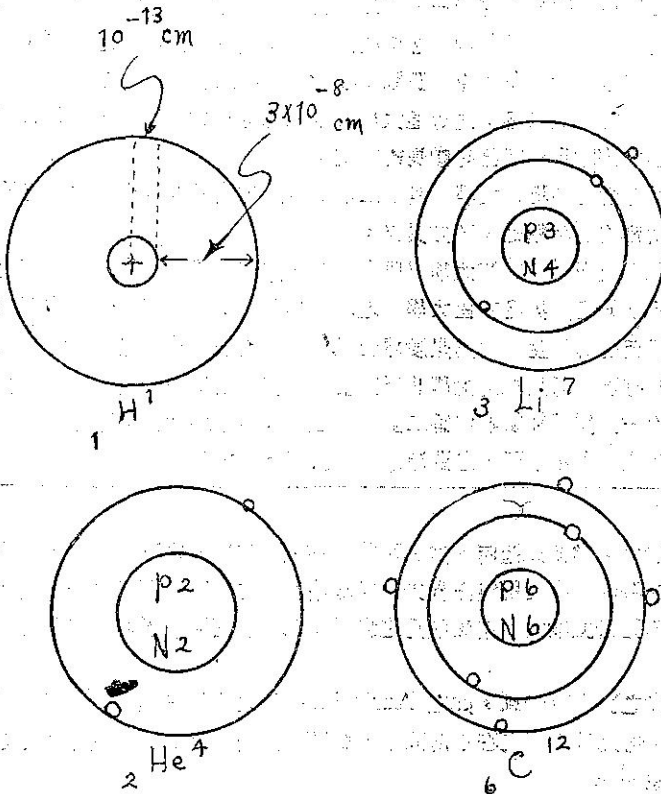
電子為最小及已知物質中最輕者，帶有負電荷，質子較電子重一千八百四十倍，帶正電荷，中子較質子稍重但無電荷。

正子之質量與電子相等但帶正電荷。

原子構造分二部分，即核及外圍電子。核位原子中央部份，含質子及中子，為實際上原子之重量組成，電子在核子四週，環繞核子運行不息。原子中空隙，以高爾夫球為例，假定核大如球，則其距電子第一軌道將為一哩，距第二軌道將四倍于第一軌道，第三軌道為九倍，第n軌道將為 n^2r 倍。

同位原素

每一原素在週期表佔同一位置，但可有數種不同之質量。當同一原素，有不同之質量時，相互間各稱為同位原素。



自然界存在之同位原素。

名 稱	半 衰 期	崩 壞 型	能 量	崩 壞 產 物
$^{19}\text{K}^{40}$	1.3×10^9 年	β, γ	$\beta(1.33)$ $\gamma(1.46)$	$\text{Ca}^{40}, \text{A}^{40}$
$^{87}\text{Rb}^{87}$	6×10^{10} 年	β	$\beta(0.27)$	Sr^{87}
$^{147}\text{Sm}^{147}$	1.4×10^{11} 年	α	$\alpha(2.18)$	Nd^{143}
$^{176}\text{Lu}^{176}$	7.5×10^{10} 年	β, γ	$\beta(0.4)$ $\gamma(0.089)$	$\text{Hf}^{176}, \text{Yb}^{176}$
$^{187}\text{Re}^{187}$	4×10^{12} 年	β	$\beta(0.043)$	Os^{187}

以Ca為例

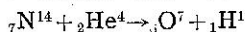
符號 Ca	符號 Zn
原子序數 20 (Z)	原子序數 30 (Z)
原子量 40.08	原子量 65.38
同位素質量 (A)	同位素質量 (A)
40	64
41	65
42	66
43	67
44	68
	70

${}_Z X^A$ Z=Atomic Number 原子序數
 A=Mass Number 質 量
 A-Z=Neutron Number 中子數

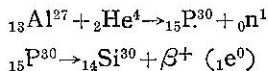
自然及人造同位素

自然存在之同位素，到目前為止，已有四十種以上，且每種皆有其一定放射移動列。大部原素崩壞後產生新原素，相互間之關係，自成一列系。每一例系，其最初放射性原素，經崩壞或蛻變 (Transmutation) 而成仍含放射性之新原素。繼續蛻變或崩壞，直至穩定。 U^{235} 族， ${}_{92}Th^{232}$ 族， ${}_{83}Np^{237}$ 族及 C^{14} ， ${}_1H^3$ 等是。

人造同位素在1919年 Lord Rutherford 發現高速度負電荷之粒子 (Projectile) 射擊穩定原子 (Target) 產生反應，引起核子變化。負電荷粒子，由 Bi^{214} 之 α 粒子所生，衝擊于氮核子之上，其反應如下：

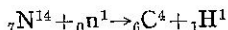


1939年 Curie 夫婦發現用鋁箔、硼、鎂等輕金屬，射以 α 粒子，即見質子放出，其反應如下：



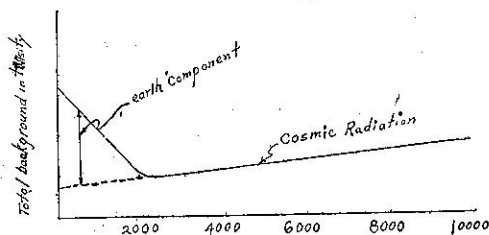
其崩壞形式為 β^+ ，半衰期為3.2分。

經 Curie 及 Joliot 不斷之發現，幾乎在週期表中之原素，射以負電荷之粒子、中子、或在少數例子之光子，皆能使原素含放射性。 C^{14} 在目前不僅天然間存在，亦可由人工造成。天然間存量極小，其形成發生在大氣中之氮與宇宙線所生之中子作用。

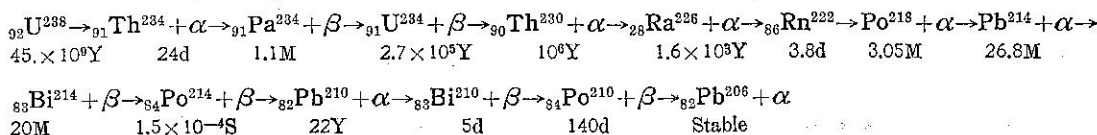


天然間放射性同位素，其崩壞形式，一般皆屬 β 或 α 。在人造同位素，頗少屬 α 放射，通常為 β^- 、 β^+ 或 E.C (Electron Capture)。至于其他放射性同位素之來源，則為核子分裂所產生。最初分裂生成之原素，自成一崩壞列系。

自然感受 (Background Radiation) 在測定放射性原素及核子反應時，常有因宇宙線之影響而有不必要之計數存在。其他如局部污染、絕緣疏漏及地表含有放射能等皆有所影響，平均每人自然感受為 $0.0025\gamma/wk$

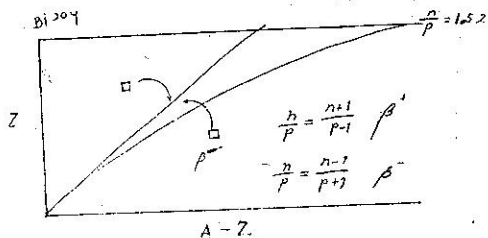


${}_{92}U^{238}$ 之崩壞列系



核子穩定

原子之構造，有其一定規則性，此種法則即為使原子趨于穩定。倘其結構未達其一定規則，則此原子將屬不穩定者，于是即顯示放射特性。

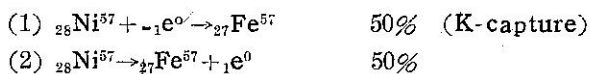


依目前所知，原子核為中子和質子所組成，二者之間存有二種力量。一為負正電荷之質子之間之Coulomb force另一為正負二電荷之間之相吸力。據推測所知，斥與吸之間在某一程度之中子、質子之組合比例，能使原子趨于穩定。如能消除核子間之Coulomb force必須在當質子與中子數相等時。惟輕金屬原素之間，因相對吸力關係，故不足重視。惟原子序數增至20時，即核子間斥力增加，其穩定度必致大為改變，因此必須過量之中子以

達核子間之穩定也。

崩壞現象 (Decay Phenomina)

每一放射性原素，不論人造或天然，必有其唯一崩壞系統特質，崩壞目的已如上述，即為趨本身于穩定也。有時崩壞具數方面。



$$\frac{\beta}{\text{E.C.}} = 1$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

ΔN = 在已知時間 Δt 內崩壞之原子數

N = 原子總數

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\frac{dA}{dt} = -\lambda A \quad A = \text{Activity, Curies or dps}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

倘 Activity 減少至一半時

$$0.5 = e^{-\lambda t_{\frac{1}{2}}}$$

$$2 = e^{\lambda t_{\frac{1}{2}}}$$

$$\log_0 2 = \lambda t_{\frac{1}{2}}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\log 2}{\lambda} \quad t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda} \quad \lambda = \frac{0.693}{t_{\frac{1}{2}}}$$

λ = 崩壞常數

放射能單位

Curie 為測定放射性來源活性之單位與放射性物質之能量。假定 1 millicurie 之 P^{32} ， N^{24} ，或 C^{14} ，其意義為同位原素之能量，使其崩壞速率為每秒 3.7×10^7 原子數，但需指明者，當同位原素之崩壞形式不止一種時即產生誤差。例如，當原素本身射出 β 及 γ 線，測定 β 粒子時得較高之崩壞速度，倘僅量 γ ，則結果必較低。

Roentgen 為量放射能量之單位，當 X 光線或 γ 線，使一立方呎之空氣電離產生一個 e.s.u. (靜電單位) 電

子對，即稱 1 Roentgen。當 γ 線作用于空氣時，使空氣電離生成光電子，全生成電子 (Compton) 對生電子，此等第二生成粒子又生成電子及正電子，如果所生電子為一靜電單位即為 1 Roentgen

$$1r = 1 \text{ e.s.u./c.c.}$$

$$1r = \frac{1}{4.803 \times 10^{-10}} \text{ electron/c.c.} = 2.083 \times 10^9 \text{ ele.c.trons}$$

$$1r = \frac{1}{4.803 \times 10^{-10}} \times 32 \text{ ev/c.c.}$$

$$1r = 83.8 \text{ ergs of energy/gm. of air}$$

Rep (Roentgen Equivalent Physical) 為測量人體吸收放射線能量之單位，當每克之身體組織所吸收之能為 93.8 Ergs 時稱為 1 rep。

Rad 人體吸收放射能之單位，當每克人體組織，所吸收之能為 100 ergs 時稱為 1 rad

Rem (Roentgen Equivalent men) 不同之放射能，其吸收程度亦異

$$1 \text{ Rep} = 1 \text{ rem } \beta$$

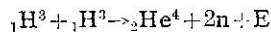
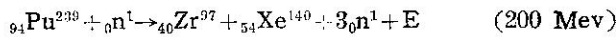
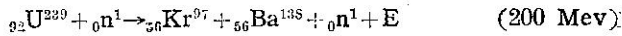
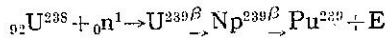
$$1 \text{ Rep} = 1 \text{ rem } \gamma$$

$$1 \text{ Rep} = 10 \text{ rem P.n}$$

$$1 \text{ Rep} = 20 \text{ rem } \alpha$$

原 子 分 裂

當 Ra^{226} 及 Be^9 集合在一起時，即產生中子。而此中子用作射擊分裂物如 U^{238} ， Th^{232} ， U^{235} ， Pu^{239} 即產生連鎖反應



原 子 塵

原子塵 (Fallout) 來自原子爆炸，可分為三種：早期落下 (Close-in) 在爆炸後 10~20 小時或僅飛行至數百哩，即開始下降。

中間下降 (Intermediate) 在爆炸後數星期內下降。

晚期下降 (Delayed)，原子塵在空中延遲數月至數年下降。

Close-in 之降下物，屬爆炸物中之較重者，因本身重量而下降。欲尋求原子塵之降落點，爆炸之方式及爆炸後 10~20 小時內風向預測，有密切關係。

中間降落，其粒子較小，故需較高時間下降，停留低空數星期並遠至數千里。除被雨雪所能洗下外，通常不易因重力而下降。換言之，降下物並非均勻，或能預測其所經路線，但集中于降落地點。故在某一環境下，局部地區偶得未能比例之濃度較高之降下物。

晚期降下，其粒子頗細，且被帶入四萬呎之高度，對人體影響言，其主要為銫 90，因其在空中時間頗久，終至足跡遍于全球，至其如何落下，尚未為人所深知。因此上下層氣流之混合，物體在大氣中之擴散，皆為氣象學上之主要問題。而此種問題或可由放射性物質之踪跡及其所尋之路線上找得答案。

當原子彈爆炸，部份物質變為爆炸、光、熱、及放射能。通常 20 Kiloton 原子彈，完全能量約為 2×10^{13} Calories，約 83% 能量為動能 (K.E.)，6% 為 γ 線及中子，其餘 11% 變為分裂物。

爆炸後分裂產物在不同時間內所呈現之活性及危害度一覽表

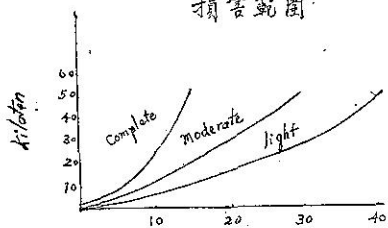
1 Week			1 Month			1 Year		
Isotope	% Activity Contribution	Relative Hazard	Isotope	% Activity Contribution	Relative Hazard	Isotope	% Activity Contribution	Relative Hazard
I ¹³¹	6.3	100	Sr ⁹⁰	6.7	100	Sr ⁹⁰ + Y ⁹⁰	3.6	100
Sr ⁹⁰	2.2	28	I ¹³¹	3.2	50	Sr ⁹⁰	2.6	0.8
Ba ¹⁴⁰	9.0	16	B ¹⁴⁰	10.8	20	Nb ⁹⁵	15.0	0.2
Xe ¹³³	12.0	3.0	Nb ⁹⁵	4.2	2	Ce ¹⁴⁴ + Pr ¹⁴⁴	54.0	0.1
Pr ¹⁴³	8.0	0.09	Xe ¹³³	2.6	0.7	Cs ¹³⁷ + Bd ¹³⁷	3.0	0.003
Y ⁹¹	2.4	0.06	Ce ¹⁴⁴ + Pr ¹⁴⁴	4.0	0.5	Y ⁹¹	4.0	0.002
La ¹⁴⁰	9.4	0.03	Y ⁹¹	7.5	0.2	Ru ¹⁰⁶ + Rh ¹⁰⁶	5.0	0.001
Mo ⁹⁹	10.0	0.002	Pr ¹⁴³	11.1	0.1	Pm ¹⁴⁷	5.8	0.0007
I ¹³²	7.2	※	La ¹⁴⁰	12.4	0.04	Zr ⁹⁵	7.0	※
Te ¹³²	7.0	※	Ce ¹⁴¹	11.2	※			
Ce ¹⁴¹	4.8	※	Zr ⁹⁵	8.1	※			
Nd ¹⁴⁷	4.2	※	Ru ¹⁰³	5.7	※			
Other	7.5	※	Other	12.5	※			

※ No Published Standard for MPC

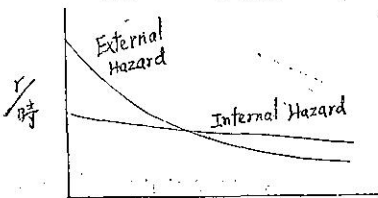
原子塵正如空氣中其他不純物能被雨水除去。約有一半含放射塵物質，能用過濾方法除去。僅有 4%之放射性雨水在池沼中被發現。大部放射性物質被池沼四週樹木、草、蔬菜、泥土所吸收或被沉入池底污泥之中。

小型原子彈爆炸，距中心點10~20平方哩將受嚴重損害，100~200平方哩則受損失較輕。倘較大型原子彈或氫彈爆炸，嚴重損害地區將及100平方哩，輕度損害地區為1000平方哩。

損害範圍

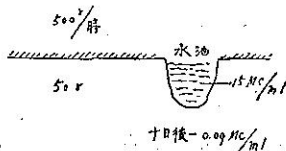
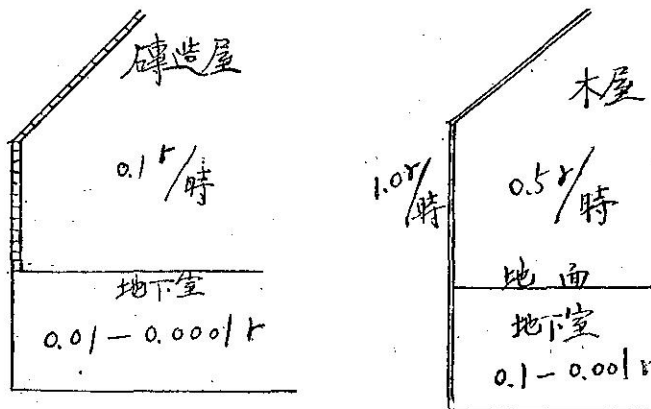


放射能量
1000r/時 時間 0
100r/時 1小時
10r/時 4小時
5r/時 12小時
2r/時 48小時



時間

房屋建築及水源之影響



結論

原子彈之損害，或原子塵為害非不可防禦。倘有充份準備，防患未然，則可減少損害至最低限度殆無疑義。但如何作充分準備則有賴當局之鼓勵及從事是項工作之同人努力。目前環境中含放射能物質之不斷增加為不可否認之事實。設非及早防患，則未可預期之影響將不知會發生如何後果。(完)