

萬有文庫

第二集七種

王雲五主編

地球化學

(四)

弗那斯基著

譚勤餘任夢雲譯

商務印書館發行

地 球 化 學

(四)

弗 那 斯 基 著

譚 勤 餘 任 夢 雲 譯

萬有文庫

第二集七百種

經編纂者

王雲五

商務印書館發行

第七章 地殼中之放射性元素

五十八 鐳 釷 錒之放射系

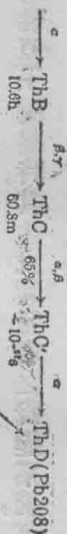
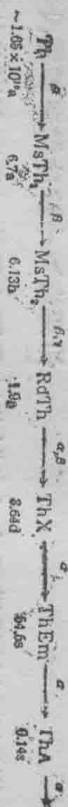
化學元素之有強放射性者，其原子常起蛻變現象，放出能線，以形成新原子、新元素。此種元素蛻變之作用，與自然界其他任何能無關係。

研究放射能作用，則放射性原子蛻變時，其生成新元素之蛻變系統，可以明瞭。現在已知者，有三種系統，包含四十餘種元素。其根本皆由鈾、釷二元素而來。此兩元素之蛻變系統如第十八表所示：

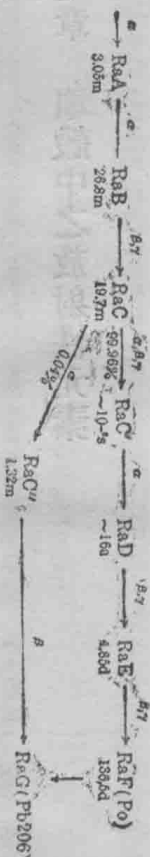
第十八表

三八六

(1)



(2)



(註) a = 年; d = 日; h = 時; m = 分; s = 秒。 α, β, γ 表示

放射線之種類。其未記入者爲中蛻變時間。

上述放射系，尙未達完成之域，觀察不確實及空隙尙多。此表常由新觀察而加以改良，將來恐更有根本變化，亦未可知。例如將來是否能證明釷之成因，與鈾之同位素 (isotope) 有關係，殊不敢斷言。此種現象，今日雖不過僅爲一種思想，然吾人對於此現象所有之知識，不過僅得其大綱，不可不注意。故上表所列者，不能認爲最後一定不異之物也。

放射現象，一方面生成種種新化學元素之原子，同時發生有密切關係之放射線。放射線有三種： α 射線爲二重帶正電之氦原子 (helium atom)； β 射線爲電子 (electron)； γ 射線爲波長極小之光線，或謂其與能量子 (energicquant; enery quantum) 相當。

此方面之重要見解，對於說明鈾及釷之蛻變現象，大有進步者，爲英國之索狄 (F. Soddy)，羅素 (A. E. Russell)，及德國之法揚 (K. Fajjan) 等所發見，即放射一個 α 微粒子——一個帶正電之氦原子即二陽價氦離子——，或放射一個 β 微粒子——一個陰電子——，即可生成新原子。

前者生成之新原子，就週期表觀之，與該放射性元素同列，且在左方退後二位之新元素相當，此新元素與原來存在於該位置之元素無異，可視其爲此元素之同位素。後者則反是，其所生新元素之化學性質，與母元素前一位之新元素相當。

由此重要之變化定律，足以洞悉放射能之蛻變現象。即由母元素之原子核，放出二陽價之氦原子，及放出一陰價之電子，即起蛻變。

放射 γ 射線時，不生新元素。而放射電子時，幾常有 γ 射線隨之發生。據科發里克 (A. Kovalevsk) 最近研究， γ 射線與每個元素量子 (elementar quantum) 之放射相當。

γ 射線實爲今日已知波長最短之「光波」，放射性物質之最短——即最硬——放射線之波長，僅爲 10^{-11} 釐米。其最短者，爲鐳 C 與鐳 C' ($\text{RaC} + \text{RaC}'$) (Thiëband 定爲 6.94×10^{-11} cm.) 及新釷第 11 (MsTh_2 (jovanovic 定爲 1.55×10^{-11} cm.))。如此短之波長，除放射能之蛻變作用而外，不能得而實驗之。惟有宇宙根源之所謂「透過線」，其波長更短 (10^{-12} cm.)，亦未可知也。

放射 γ 射線時，原子核不發生蛻變現象，依普通方法，是否可使其生成，實不可知。

第十八表所示之 γ 射線，與最短之X射線，其性狀大異。

除上述種類而外，尚有與 α 射線同時放出之別種 β 射線及 γ 射線。此種 γ 射線比普通之 γ 射線稍「軟」；又 β 射線之速度亦比較小，可得而區別之（與光線速度大不同）。此等放射線之由來，自哈因（O. Hahn）之研究始，尤以邁特涅（L. Meitner）等近年之研究，漸至明瞭。

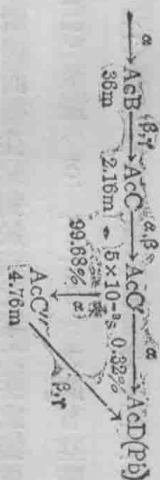
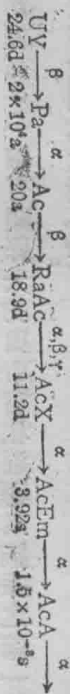
即上述電子及能之放出，與該原子核蛻變時之副現象相當，由其蛻變，不過在其影響範圍所惹起之變化而已。

即此二種放射線，雖隨原子蛻變而發生，然對於新元素之生成，無直接關係。

試觀鈾之蛻變系，自鈾I（UI）至鐳（Io, ionium）之間，有空隙存在。又鈾Z（UZ）應屬於何元素，尙成疑問，似與鈾II（UII）有關係。然此處或有至今未明之新元素存在亦未可知。鈾Y（UY）與鐳（第十九表 Pa）確有關係，大約與事實相近；鐳爲錒系之第一位穩定元素，鈾與錒之比（U:Ac），據哈因研究，謂其常爲一定。

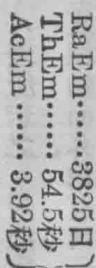
第 十 九 表

(3)



上述四十種化學元素，其成因互有關連。而其種數尚有增加之可能性。又鈾II、鈾Z及鈾Y之關係，恐比現在所想像者更為複雜。

此等蛻變系之元素，壽命多短小。然其存在，對於地球化學之關係甚大，尤以新生成物呈氣態時更為重要。例如：



此等射氣為原子序86號元素之同素異形物。

其穩定之生成物，約有百千年，或至百萬年之壽命，其在地球化學上甚為重要，已無容疑。此等元素之壽命，如次表所示：

第二十表

元 素	壽 命	同 位 素	原 子 序	元 素	壽 命	同 位 素	原 子 序
UI	4×10^9 年	鈾	92	Pa	2×10^4 年	釷	91
UII	10^4 年	鈾	92	AcD		鉛	82
Io	8×10^4 年	釷	90	ThI	1.6×10^{10} 年	釷	90
Ra	1.58×10^5 年	鐳	88	ThD		鉛	82
RaG		鉛	82				

上表中鐳G、鐳C、釷D (RaG, AcD, ThD) 之壽命，與釷及鈾相同，或比較更長。

就化學見地而言，上述各系之元素中，天然出產甚多者，僅有五種，即鈾、釷、鉛、鐳及鐳是也。此外如 (1) 約有20年壽命之鐳 (原子序89)，(2) 有136.5日壽命之釷 (原子序84)，(3) 壽命極短之氮射氣及其同位素 (原子序86)，(4) 壽命極短之鈾 (原子序81) 及錒之同位

素等，亦出產於自然界。就中鈾及錒尚未發見穩定之同位素存在。

此外尚有一種元素，與此等放射性元素之成因有關係。即天然煤氣中之氦，當放射能蛻變時，常見其發生是也。 α 射線雖為二陽價之氦原子，然暫時之後，即失其電荷，或起中和作用而成電中性體，變成普通氦元素之狀。

放射性元素蛻變時，亦有生成帶電氦之可能。據馬斯敦（E. Marsden）及郎托柏利（W. Lantobury）研究，鐳C及鐳A之 α 射線，一部分為帶正電之氦原子，但其結果尚未確定。故現在主張氦可如是生成者，非確實定論。凡化學元素之有此等成因關係者，經過相當長久時間，不僅混於同一礦床，且竟可混存於同一礦物中。

由化學見地而言，凡鈾礦概含有U， $\text{Io}(=\text{Th})$ ，Po，Ra，He，Pb，Ac，Pa，Em，等，恐尚含有氦；凡釷礦概含有Th，He，Rd，Th(=Ra)，Pb，Em等。

此等礦物所含諸元素之量，與各元素之壽命有關係。吾人由此可計算而知其量，所得結果，雖屬理論上之計算，然與事實上所含者頗相一致。

古時生成之放散性礦物中，其年齡與鈾及釷之半衰期（U: 4×10^9 a, Th: 1.65×10^{10} a）相近似者，所含此等元素之量達於最大，即已呈放射能的平衡狀態。

例如鈾中所含之鐳，其最大限度與鈾之 $3.4 \times 10^{-5}\%$ 相當；蓋一方面由鈾II蛻變之鐳原子以生鐳，一方面鐳又放出射氣而自行蛻變。其在鈾礦中存在之量達 $3.4 \times 10^{-5}\%$ 時，即鐳之生成作用與蛻變作用正相等，是所謂放射能平衡。

據刺德福（E. Rutherford）研究，古礦物中可得含放射性元素之最大限度，如第二十一表所示：

第二十一表 （對於鈾量之百分比）

鈾	系	釷	系
UII	$1.96 \times 10^{-2} \%$	MsTh ₁	$4.2 \times 10^{-8} \%$
UY	$8. \times 10^{-11} \%$	MsTh ₂	$5.2 \times 10^{-12} \%$
UX	$1.3 \times 10^{-9} \%$	RdTh	$1.5 \times 10^{-8} \%$

Io	$3.9 \times 10^{-4} \%$	ThX	$7.4 \times 10^{-11} \%$
Ro	$3.4 \times 10^{-5} \%$	ThEm	$1.2 \times 10^{-14} \%$
Rn	$5.0 \times 10^{-10} \%$	ThA	$3.1 \times 10^{-17} \%$
RaA	$3.1 \times 10^{-13} \%$	ThB	$8.5 \times 10^{-12} \%$
RaB	$2.7 \times 10^{-12} \%$	ThC'	$7.9 \times 10^{-13} \%$
RaC'	$2.0 \times 10^{-12} \%$	ThD(Pb)	$1.2 \times 10^{-14} \%$
RaD	$8.2 \times 10^{-7} \%$		
RaE	$7.1 \times 10^{-7} \%$		
RaF(Po)	$1.9 \times 10^{-3} \%$		

此種計算，屢屢與礦物中所發見者相同。由此等關係，可推知礦物之時代，吾人現在所見之礦物，其生成期至少在千萬世紀以前。

鈾礦中除含有上述諸元素之外，尚含錒系元素。然其量普通概少，例如鈾II原子之97%均見錒之蛻變系，而錒系則不過3%耳。錒系最重要之元素如釷，其最大限度，僅為鈾之 $1.29 \times 10^{-5} \%$

而已。

察礦物由一種熱力學分圈向他分圈移動時，必起變化，固不待言，即在同一分圈內，若外界之條件不同，亦有變化發生。此時，礦物所含之原子，亦起特殊之移動。此種移動現象，若為放射性礦物，則由其所含原子之內力而起。

由舊元素蛻變生成之新元素，其化學性及蛻變作用，即令在當時穩定狀態之礦物中，亦為引起新化學反應原因之一。此種新原子之化學性，常與母元素之化學性相異，可入於新地球化學之循環中，而與其他有成因關係之原子分離。

例如鐳、鐳、鉛三原子，可成不含鈾之新物質，與鈾分子，又鐳與鉛之新化合物，亦與鈾分離而存在。鐳為鈾之一種同位素，在鈾礦物中與此相當之成分，其化學性與他部分不同。即鐳已加入鈾之地球化學循環系。

此等新元素，由以後所起之化學作用，與其根源之鈾礦及鈾礦相去愈遠，而呈集中狀況。放射性甚強之元素，例如鐳，在不含鈾或鈾之他種礦物中，其含量之百分比比較在鈾礦或鈾礦中時低，是

爲其特徵，蓋表示未達平衡狀態之意。至於非放射性新元素，如氦或釷、鉛則反是，乃表示集中現象。誠如是，則吾人周圍之自然界，大放異彩，從前夢想不到之新科學觀，正方興未艾也。即礦物界有一部分經過一切地質時代—— 2×10^9 年以上——任何方法均不能破壞之，其原子呈「靜止」狀態；第二部分已達不可再破壞之狀態——放射能平衡之意——，或恰如已達此狀態之物，即地質學所稱之古放射性礦物是也。第三部分爲不穩定平衡狀態之物，其變化僅可向一方進行（任何外力均不能改變之）；經過時間漸久，其變化則漸衰，漸漸接近平衡之狀態。

由吾人現在對於無生物質之見解而言，上述礦物界，似可分成二種，有明顯之區別。其一種常有能放射而出，他一種則與此完全無關係。

蓋吾人之觀念，對於今日未曾經驗而偏於理論之放射現象，似尙難充分明瞭。

然放射現象，何故僅爲鈾及釷之特性，殊覺費解。況此二元素，除此特性外，與普通化學元素決無稍異。自放射能被發見後，有人創一種假說（最初提議者爲路朋（G. le Bon）），謂此種性能爲一切化學元素所共通，乃一般物質之通性云。是則鈾及釷之放射能特性，亦有普遍化之意義存焉。

例如鉀及鋇，現已確定其有 β 射線及 γ 射線，然其放射之機構及其結果如何？則尚未明。又其他尚有數元素，例如某金屬，亦有認其呈放射蛻變之現象者。

鉀素在地殼中之分布頗廣，故其放射效應之總量，似應比鈾及釷更多。然宜注意者，現今鉀及鋇尚未列入正常之放射性元素系中，故尚難斷定之。

至其他元素是否尚有放射蛻變現象，據研究結果，亦難證明其不存在。或其現象甚大，非吾人現在之方法所能認識，亦未可知。

由此種研究之經驗，遂成他種新假說之基礎，如刺德福所創者是也。其說謂：除放射性元素外，所有普通元素，可視為往時已經蛻變完了之穩定殘骸。現在鈾及釷蛻變系之各元素，亦可遺留鉛而歸消滅云。

上述兩種見解，可衍生人類之新思想，與原始思想之固執宇宙觀對立。久已忘懷之觀念，又有復興再現之況。

刺德福之假說，與熵（熱容量因子）之結論相似，可得相同之觀念（參考第五十二節）。即

化學元素，最後可達到內部穩定之狀態，乃不可避免之現象。

如是，則路朋所謂一切元素均有放射蛻變性一說，其當然之結果，應爲可逆反應——元素之合成作用。就此見解而言，預想合成元素，或不至絕望，大可鼓舞今後之研究與探求也。能斯特 (Nernst, W.) 及京斯 (T. Jeans) 曾舉巧妙之例，以證明應向何方探求此種合成法。據近時新科學觀察之結果，原子之內部現象，其領域更廣，可推定各原子之合成，或蛻變之關係。天體之宇宙領域，爲發現特殊能之源泉，已無疑問。赫斯 (F. Hess) 所創說之「透過線」或「貫穿線」——即如 γ 射線——恐即由此而來，繼續不絕，以達於吾人之地球，其貫穿本領，遠在最硬之放射線以上。吾人於此，已漸接近自然界之神祕。現在放射蛻變之真相，恐亦將由此方面而獲其解決歟。

原子蛻變之理由，尙未明瞭。初由外力以求之，然至今日，任用何能，決不使此等蛻變影響起變化。故其原因，非謂放射性元素有特別之原子結構，即認爲尙有未知之能存在，二者必居其一。數年以前，培林 (J. Perrin) 曾謂地球內部有貫穿力絕大之輻射線，其放射能可達於地面云。

地質學方面，言及地球內部問題，吾人之知識即不充分，不過僅知其解答欠確實精細而已。然