



趙丰曾任美國航太總署哥達德太空飛行中心的太空測地實驗室主任、中央大學地球科學院院長，現任中央研究院地球科學研究所所長；研究專長為地球與行星動力學、重力學、地球物理與地震學等。

地老天荒問幾何（二）

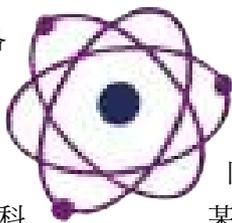
張飛戰岳飛，戰得滿天飛，半路卻殺出程咬金，一舉千軍平定，萬馬齊喑。
於是太宗糾合天下，定於一尊。

當各方先知異士，包括克耳文爵士，各說各話地宣稱推算出地球的年齡應該是數千萬歲之際，證明他們的謬誤的新線索已在完全意料不到的園圃裡悄悄地萌芽。

1896年，巴黎植物園裡一角的實驗室裡，法國科學家貝克勒爾（Henri Becquerel, 1852~1908）在螢光物質的實驗中，偶然發現含有鈾元素的礦石可以讓照相底片感光。隨後幾年裡，居禮夫婦以實驗結果指出，這種新型的、他們稱之為「放射性」（radioactivity）的神秘射線來自元素本身，與化學無關。他們刻苦不撓，從瀝青礦中陸續分離出極少量、放射性強過鈾數百倍的兩種新元素——鐳和釷，並發現它們伴隨著放射性，有大量來路不明的熱能釋放出來。居禮夫人更注意到，她分離出的釷元素（釷210）有約140天的半衰期。

同時，拉塞福（Ernest Rutherford, 1871~1937）的測量則發現：放射性樣本挾帶的某些其他微量元素含量會持續增加，他以超人的洞見，指出原子的放射性牽涉到原子的蛻變——放射性元素在放射過程中搖身變成另一種元素，就像古時煉金術所妄想的那樣。他實驗顯示：放射性放出三種射線，他稱之為 α 、 β 、 γ 。居禮夫婦證實 β 射線其實就是早先湯姆森（Joseph J. Thomson）發現的電子；拉塞福則證實 α 射線是氦原子（其實是氦原子核），而 γ 射線其實是高能電磁波。拉塞福1911年所做的令人稱道的庫倫散射實驗，更揭露了原子深處的質子團形成的原子核。至1932年，查德威克（James Chadwick）發現了原子核裡的另外成員——中子。

這些世紀新發現，似乎和地球的年齡全然風馬牛不相及；然而其中隱含的兩項耐人尋味的物理事實，在科學家的推展之下，很快就完全顛覆了過去所有對地球年齡的（謬誤）推估和認知，為人類對整體太陽系以至地球生平的認知，譜下新的樂章。



現在我們知道：原子核由質子（帶正電）和中子（不帶電）構成，質子的數目就是該元素的化學「原子序」，中子（數目或多或少，代表不同的「同位素」）則負責把這些質子團聚在一起。

某些原子核（尤其太大時）並不安份，會自動釋出 α 或 β 射線而蛻變成另外一種元素，我們稱「不穩定」的「母元素」藉由放射性「衰變」成為「子元素」。

衰變時釋出的能量是打哪來的？物理學家的大困惑，在1905年由愛因斯坦相對論的質能互換公式適時提供了答案：衰變前母元素的質量，略大於衰變後的子元素加上射線的能量，這微小的質量虧損都羽化登仙，成為能量啦！包括 α 、 β 射線的動能和 γ 射線，最終都轉為了熱能。

早在居禮夫婦努力探索放射性的物理本質時，世界各地許多量測很快就發現，在地球上，放射性元素其實普遍存在於普通的岩石裡；雖然含量極低（含量特別高的，就成為值得開採的礦藏），但整個地球加總起來，放射過程持續產生的熱量不可小覷；估算之下，其總量恐怕不低於地球生成期間所凝聚的總重力位能！而後者就是克耳文爵士用以推算地球年齡之所本。那麼，今日地球內部之所以仍那麼熱，不表示地球年輕，而是放射性物質釋熱大力「加持」的結果。（所以，今天實際量到的所謂「地熱」，有相當大的部份其實是天然「核能」！）反過來說，地球的年齡則完全可以遠遠超出克耳文爵士相信的數千萬年。

一旦在消極涵義上跳脫了克耳文迷思，地質學家、博物學家心目中索求的天長地久就開始受到正視了。然而更精采的在於那積極的涵義——對放射性元素的仔細分析，竟然直接給出了地球、甚至太陽系的年齡！

話說放射性衰變的速率，取決於母元素原子核的本性。雖然單一放射性原子核何時會衰變，完全隨它高興，但再小不過的樣本、再低的含量，擁有的放射性元素原子數目都會是億億萬萬，整體統計下得到的效果是：每一種衰變

