

萬有文庫

第一集一千種

王雲五主編

地球的年齡

李四光著



商務印書館發行

萬有文庫

第一集一千種

總編纂者

王雲五

商務印書館發行

040466

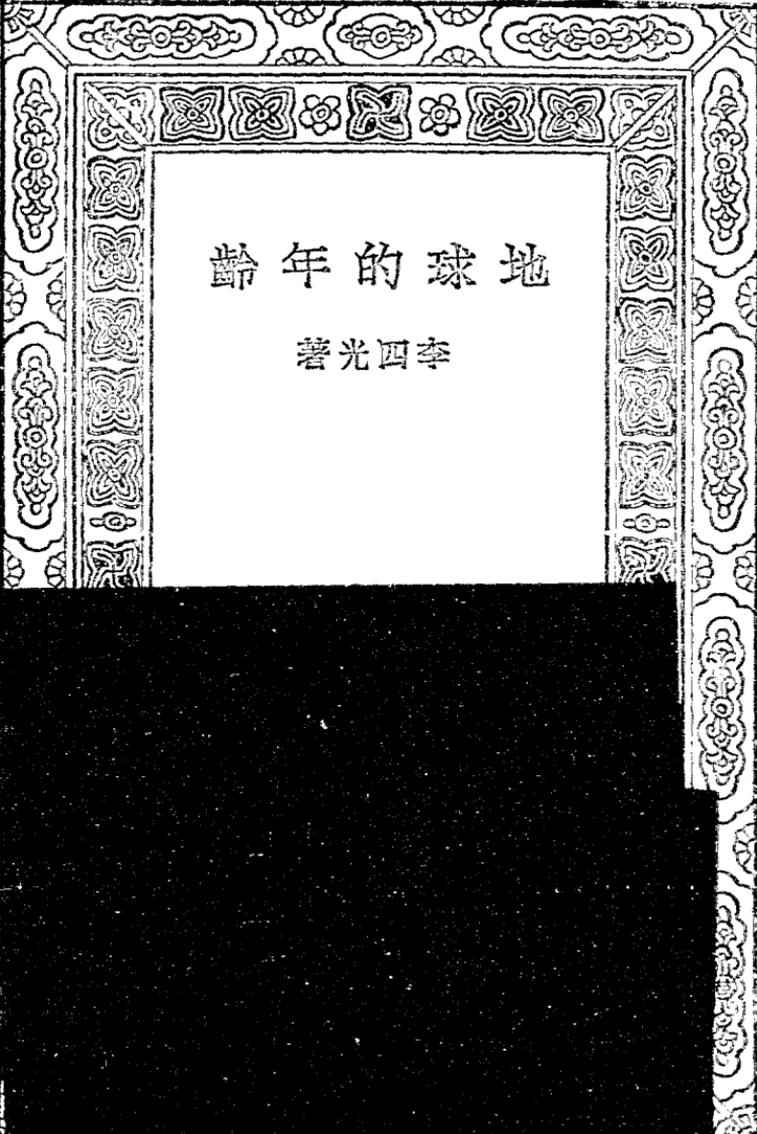
江公雲卿遺象



吾族僻處山隅。而歷朝科第聯綿。人文蔚起。蓋由我祖我宗。以耕讀傳家爲勸率而然也。科舉旣廢。里中  
擬立小學。以訓育子姓。惟兵燹以後。墻籍蕩然。予叔父漢珊公特購四部備要一部。贈諸鄉校。俾治國  
學者有所考索。嘉惠後學。誠感事也。愚兄弟趨庭之暇。稔聞先君雲卿公稱述先曾大父大文公讀  
書勵行之盛德。及先大父采東公掩骼建祠之懿聞。輒殷殷以敬宗睦族相勗。予小子秉承庭訓。毋  
敢或忘。近見海上書坊印行萬有文庫一種。卷帙浩博。而於各種科學之精要咸備。洵爲治科學者之津  
梁。爰承遺志。購貽族人。里中有此兩書。好學之子弟。雖杜門里術。負笈無資。亦可致力自修。期學業之深  
造。更望里中父老。因是益搜求圖籍。以爲興立圖書館之美舉。他日耆人才輩出。族姓光大。將以此爲其  
嚆矢焉。而先大夫未竟之素志。亦得以補償一二。是則愚兄弟之大願也。至於藏守護持。毋使放失。毋供  
鼠蠹。則有吾鄉校中有典守之責者在。是爲敘。

中華民國二十一年歲次壬申仲夏旌德江庶咸

笑逸  
甯麓全識



地 球 的 年 齡

李 四 光 著

# 地球的年齡

## 目次

- 一 緒言……………一
- 二 純粹根據天文的學說求地球的年齡……………五
- 三 根據天文學上的理論及地質學上的事實求地球的年齡……………九
- 四 由累積岩層的總厚求地球自受侵蝕以來所歷的年齡……………二三
- 五 由海中所含的鹽量求地球上自有海洋以來的年齡……………四〇
- 六 據地球的熱歷史求他的年齡……………五二
- 七 據放射原質每年產生的氦氣求地球的年齡……………七〇

# 地球的年齡

## 一 緒言

地球的年齡，並不是一個新穎的問題。在那上古的時代早已有人提及了。例如那加爾底亞人（Chaldeans）的天文家，不知用了什麼方法，算出世界的年齡為二十一萬五千歲。波斯的瑣羅亞斯德（Zoroaster）一派的學者說世界的存在，祇限於一萬二千年。中國俗傳世界有十二萬年的壽命。這些數目當然沒有什麼意義。古代的學者因為不明自然的歷史，都陷於一個極大的誤解，那就是他們把人類的歷史，生物的歷史，地球的歷史，乃至宇宙的歷史，當做一件事看待。意謂人類未出現以前，就無所謂宇宙，無所謂世界。

中古以後，學術漸漸萌芽，荒誕無稽的傳說，漸漸失卻信用。然而西元一六五〇年時，竟有一位

有名的英國主教阿瑟 (Bishop Usher) 曾大書特書，說世界是西元前四〇〇四年造的，這并不足為奇，恐怕在科學倡明的今日，世界上還有許多人相信上帝祇費了六天的工夫，就造出我們的世界來了。

從十八世紀的中葉到十九世紀的初期，地質學、生物學與其他自然科學同一步調，向前猛進。德國出了偉爾納 (Werner)，英國出了哈同 (Hutton)，法國出了蒲豐 (Buffon)，陸謨克 (Lamarck)，以及其他著名的學者。他們關於自然的歷史，雖各懷己見，爭論激烈，然而在學術上都有永垂不朽的貢獻。俟後英國的生物學家達爾文 (Charles Darwin)，華勒斯 (Alfred Russel Wallace)，赫胥黎 (Huxley) 諸氏，再將生物進化的學說公諸於世。由是一般的思想家纔相信人類未出現以前，已經有了世界。那無人的世界，又可據生物遞變的情形，分為若干時代，每一時代大都有陸沉海涸的遺痕，然則地球歷史之長，可想而知。至此，地球年齡的問題，始得以正式成立。

就理論上說，地球的年齡，應該是地質學家劈頭的一個大問題。然而事實不然，哈同以後，地質家的活動，大半都限於局部的研究。他們對於一層岩石，一塊化石的考察，不厭精詳；而對於過去年

代的計算，都淡焉漠焉視之，一若那種的討論，非分內之事。實則地質家并非拋棄了那個問題，祇因材料尚未充足，不願多說閑話。待到克爾文（Lord Kelvin）關於地球的年齡發表意見的時候，地質家方面始有一部分人覺得克氏所定的年齡過短，他的立論也未免過於專斷。這位物理家不獨不願地質學上的事實，反而嘲笑他們。克氏說：「地質家看太陽如同薔薇看養花的老頭兒似的。薔薇說道：養我們的那一位老頭兒必定是很老的一位先生，因為在我們薔薇記憶之中，他總是那樣子。」

物理學家既是這樣的挑戰，自然弄得地質家到忍無可忍的地步，於是地質學家方面，就有人起來同他們講道理。

所以地球年齡的問題，現在成了天文、物理、物質三家公共的問題。我們且看他們的議論的根據及結果如何。

先說天文家的意見。他們的意見大概可分為兩項：第一項根據潮汐與地球旋轉率的關係，第二項根據一種學說；謂過去各時代地球上氣候的變更，乃地軸移向，及地球的軌道略變其形所致。

的前項純是天文學上的問題，後項參了地質學上的問題。

## 二 純粹根據天文的學說求地球的年齡

一七四九年，丹索 (Dunthorne) 依據比較古今日蝕時期的結果，倡言現今地球的旋轉，較古代爲慢。其後百餘年，亞當斯 (Adams) 對於這件事又詳加考究，並算出每一百年地球的旋轉遲二十二秒，但亞氏曾申明他所用的計算的根據，不是十分可靠。康德在他宇宙哲學論中曾說到潮汐的摩擦力能使地球永遠減其旋轉的速率，一直到湯姆孫 (J. J. Thomson) 的時代，他又把這個問題提起來了。湯氏用種種方法證明地球的內部比鋼還要硬。他又從熱學上着想，假定地球原來是一團的熱汁，自從冷卻結殼以後，他的形狀未嘗變更。如若我們承認這個假定，那是由地球現在的形狀，不難推測當初凝結之時他能保平衡的旋轉速率。至若地球的扁度，可用種種方法測出。旋轉速率減少之率，也可由歷史上或用旁的方法求出。假若減少之率通古今不變，那麼，從他初結殼到今天的年齡，不難求出。據湯氏這樣計算的結果，他說地球的年齡頂多不過一、〇〇〇、〇

〇〇、〇〇〇年。但是他又說如若比一〇〇、〇〇〇、〇〇〇〇年還多，地球在赤道的凸度比現在的凸度應該還要大，而兩極應該較現在的兩極還要平。湯氏這一回計算中所用的假定可算底不少。頭一件，他說地球的中央比鋼還硬些。我們從天體力學上着想，到是與他的意見大致不差；但從地震學方面得來的消息，不能與此一致。況且地球自結殼以後，其形狀有無變更，其旋轉究竟是怎樣的變更，我們無法確定。湯氏所用的假定，既有些可疑的地方，他所得的結果，當然是可疑的。

達爾文佐治(Geo. Darwin)氏從地月系的運轉與潮汐的關係上，演繹出一種極有趣的學說，大致如下所述：地球受了潮汐的影響，漸漸減少旋轉能，是我們都知道的。按力學的原則，這個地月系全體的旋轉能應該不變，今地球的旋轉能既減少，所以月球在他的軌道上旋轉能應該增大，那就是由月球到地球的距離非增加不可。這樣看來，愈到古代，月球離地球愈近。推其極端，應有一個時候，月球與地球幾乎相接，那時的地球或者是一團黏性的液質，全體受潮汐的影響當然更大。據達氏的意見，地球原來是液質，當然受太陽的影響而生潮汐。有一時這團液質自己擺動的時期，恰與日潮的時期相同，於是因同擺的現象，擺幅大為增加，一部分的液質就凸出了很遠，卒致脫離原

來的那一團液質，成了他的衛星，這就是月球。當月球初脫離地球的時候，這個地月的系運轉比現在快多了，那時一月與一日相等，而一月不過約與現在的三點鐘相當。從日月分離以來，一月一日的時間都漸漸變長了。達氏據他的學說計算得各時期距現今最少的年代如次：

年	代	每	日	之	長	每月之長（現今之日爲單位）
	○		二三小時五六分			二七·三二
四六、三〇〇、〇〇〇			一五	三〇		一八·六二
五六、六〇〇、〇〇〇			九	五五		八·一七
五六、八〇〇、〇〇〇			七	五〇		三·五九
五六、八一〇、〇〇〇			六	四五		一·五八

近來辰柏林 (T. O. Chamberlin) 等，考究因潮汐的摩擦使地球旋轉的問題，頗爲精密。他們曾證明大約每五十萬年一天延長一分。這個數目與達氏所算出來的數目是相差太遠了。達氏

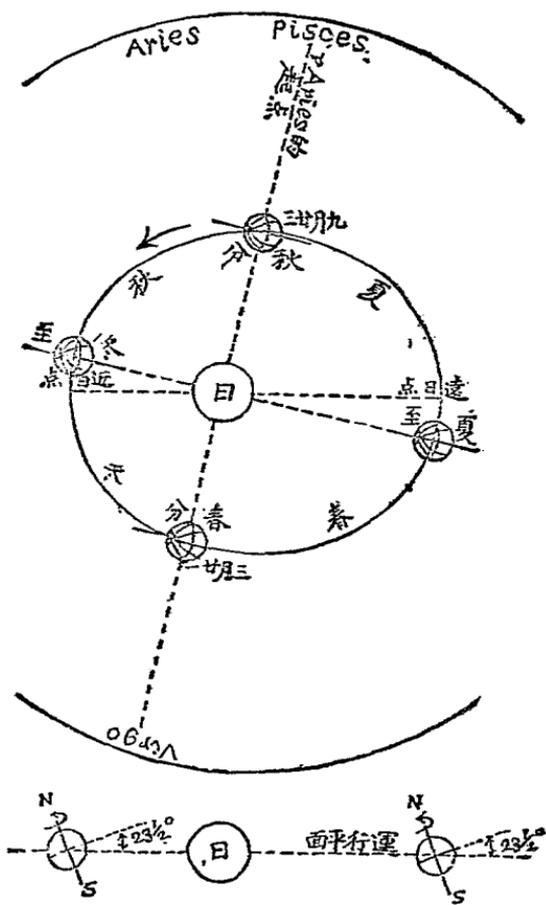
主張的潮汐與地月轉運學說，雖不完全，他所標出來地球各期的年齡，雖不可靠，然而以他那樣的苦心積慮，用他那樣數學的聰明才力，發揮成文，真是堂堂皇皇，在科學上永久有他的價值存在。

### 三 根據天文學上的理論及地質學上的事實求地球的年齡

在討論這個方法以前，我們應知道幾個天文學上的名詞。

地球順着一定的方向，從西到東，每日自轉一次，他這樣旋轉所依的軸，名曰地軸。地軸的兩端，名曰南北極。今設想一平面，與地軸成直角，又經過地球的中心，這個平面與地面交切成圓形，名曰赤道；與「天球」交切所成的圓，名曰天球赤道。天球赤道與地球赤道既同在這一個平面上，所以那個平面統名曰赤道平面。地球一年繞日一週，他的軌道略成橢圓形。太陽在這橢圓的長軸上，但不在他的中央。長軸被太陽分爲長短不等的兩段，長段與地球的軌道的交點名曰遠日點，短段與地球軌道的交點名曰近日點。太陽每年穿過赤道平面兩次。由赤道平面以北到赤道平面以南，他非經過赤道平面不可，那個時候，名曰秋分。由赤道平面以南到赤道平面以北，又非經過赤道平面

不可，那個時候，名曰春分。當春分的時候，由地球中心經過太陽的中心作一直線向空中延長，與天球相交的一點，名曰白羊宮 (Aries) 的起點。昔日這一點在白羊宮 星宿裏，現在在雙魚宮 (Pisces)



第一圖 地球運行之情形

星宿裏，所以每年春分秋分時，地球在他軌道上的位置稍稍不同。逐年白羊宮的起點的遷移，名曰春秋的推移 (precession of equinoxes)。在西元前一三四年，喜帕卡斯 (Hipparchus) 已經發見這件事實。牛頓證明春秋之所以推移，是地球繞着斜軸旋轉的結果，我們也可說是日月及行星推移的結果。春分秋分既然漸漸推移，地軸當然是隨之遷向，所以北極星的職守，不是萬世一系的。現在充這個北極星的是小熊星 (Ursæ Minoris)，他並不在地軸的延長線上。他與地軸所成的角約一度又六分之一。約百四十年後，這角度當減至二分之一度，過此以後，相差之角漸漸增加，我們不能不另找出適當的星做我們北方的嚮導。在四千六百年之前天龍 (Dragonis) 曾充北極星。萬二千五百年以後，天琴座 (Lyrae) 將要做我們的北極星了。

春分秋分逐年移上前去，計二萬六千年成一循環。但同時近日點也逐漸變遷，兩項遷變湊合，每一循環期，平均約二萬一千年，所以今後約一萬年的時候，北半球在短日點的時候爲夏，而在遠日點的時候爲冬。那時冬季較現在的冬季更長，因之積雪更多，而夏季較短而較熱。於是北半球的氣候，平均起來，自然比現在冷得多了。

拉普拉斯 (Laplace) 曾確定一件事實，那就是地球受其他行星的牽擾，其軌道的扁度按期略形增減，有時較扁，有時與圓形相去不遠。但是據刻卜勒 (Kepler) 的定律，行星的週期，與他們的軌道的長軸相關密切，二者之中，如有一項變更，其餘一項，不能不變。又據蘭格倫日 (Lagrange) 的學說，行星的牽擾，決不能永久使地球軌道的長軸變更，所以地球的軌道，即令變更，其變更之量必小，而其每年運行所要的時間，概而言之，可謂不變。

阿德馬 (Adhemar) 首唱地球軌道的扁度變更與地上氣候有關之說。勒未累 (Leverrier) 又表示如何用數學的方法，可求出過去或將來數百萬年內，任何時地球軌道的扁率。其後克洛爾 (James Croll) 發揮這個學說甚詳，並用勒氏所立的公式，算出過去三百萬年內地球軌道的扁度最大及最小的時期。扁度最大的時期，他找出三個：

- (甲) 從二、五〇〇、〇〇〇年至二、六〇〇、〇〇〇年以前
- (乙) 從 七二〇、〇〇〇年至 九八〇、〇〇〇年以前
- (丙) 從 八〇、〇〇〇年至 二四〇、〇〇〇年以前

祇要春分秋分線不與地球軌道的長軸一致，無論何時，地球的軌道愈扁，冬夏二季時間的差愈大，那就是一半球平均的氣候愈冷，同時其他一半球的氣候愈暖。

從以上兩項天文學上的事實看來，地球南北兩半球氣候應該相反，而又按期循環變更。比如在某某時南半球氣候極冷，而同時北半球的氣候溫和或甚暖。過了若干年代，北半球的氣候極冷，而同時南半球的氣候則甚暖。我們還可綜合以前所說的事實，用極簡單的方法把氣候變更的原因解釋清楚。

設  $a$  為地球距日的平均距離。命單位時間在平均距離與日光成直角的地球切面上所受太陽送來之熱量為  $\frac{2H}{a^2}$ ，命  $\delta$  為太陽向北的傾斜角 (declination)。那麼，北半球所受熱量應為：

$$\frac{H}{a^2} (1 + \sin \delta).$$

南半球所受的熱量應為：

$$\frac{H}{a^2} (1 - \sin \delta).$$

在  $r$  距離時， $dt$  時間北半球所受的熱量應為：

$$\frac{H}{r^2} (1 + \sin \delta) dt.$$

但據刻卜勒 (Kepler) 的定律，

$$\frac{r^2 d\theta}{dt} = K$$

上式中  $d\theta$  為  $dt$  時間地球繞日旋轉的角， $k$  為恆數。

故  $\frac{H}{r^2} (1 + \sin \delta) dt$  可改書為  $\frac{H}{K} (1 + \sin \delta) d\theta$ 。

但  $\sin \delta = \sin \theta \cdot \sin \epsilon$ 。

式中  $\epsilon$  為地軸與地球軌道平面所成之角。

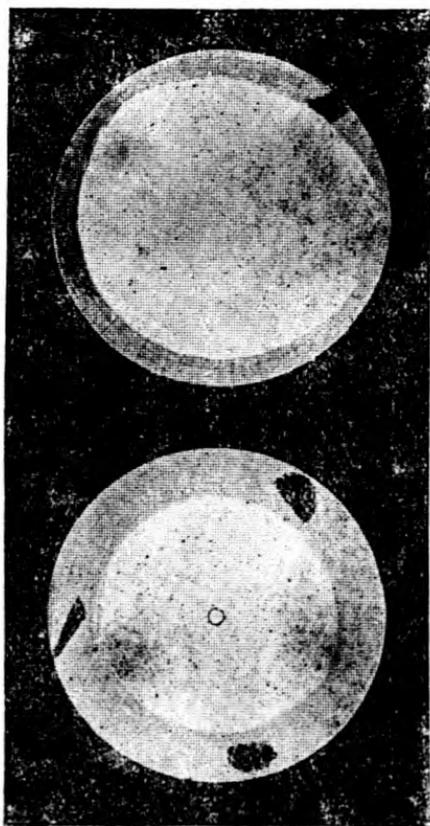
然則由春分到秋分（那就是冬季），北半球所受太陽的總熱量，可以下式表之：

$$\int_0^\pi \frac{H}{K} (1 + \sin \epsilon \cdot \sin \theta) d\theta = \frac{H}{K} (\pi + 2 \sin \epsilon).$$

用同樣的方式，可算出由春分到秋分（那就是夏季）北半球所受的總熱量如次：

$$\frac{H}{K} (\pi^2 - \sin^2 \epsilon)$$

南半球冬夏二季所受的熱，當然也可用以上之式算出。式中H，K，是恆數， $\epsilon = 23\frac{1}{2}^\circ$ ，所以全式是一個恆數。這樣看來，南北兩半球在各季中受太陽的熱，都有一定的總量。這些總熱量，與春分



白色面積表示南極冬季之冰蓋夏季完全消失

第二圖 夏季 白色面積表示北極夏季之冰蓋冬季全白

的推移；與地球軌道的扁度，可算沒有關係。但是從熱的分配上着想，這兩件事却大有關係。假若地球的軌道是圓的，那麼，無論春秋分兩點在軌道的什麼地方，冬夏二季的時日，都無長短的差。又假若春秋分兩點各在近日及遠日點上，那麼，無論軌道的扁度何如，冬夏二季也不發生時日點的差別。就事實說起來，軌道不是圓的，春秋分兩點在近日遠日兩點上的時候，在春秋推移一大循環中，只有一回，其餘無論什麼時候，春秋兩季時日的長短，多少都有一點差別。扁度最大而春秋分線又與地球軌道成直角的時候，當然春秋二季相差最大，那時候冬夏的差約三十三天，那就是一季一百九十九天，其餘一季一百六十六天。由前列二式很



形情概大的蓋冰部北球地代時期四第 圖三第

容易求得各半球夏季與冬季所受的總熱量的比爲 229:136，假定一半球每年所受的總量爲三六五單位，倘若其中二二九單位的熱分配在一六六天，其餘的一三六單位分配在一九九天的時候，冬季於是冷而長，夏季暖而短。在雨量多的地方，勢必致冬季積雪體，到了夏季，太陽的熱雖較強，然而冰融成水，既是要費許多潛熱，所以地面就是吸了許多熱，他的溫度也不致增加。況且冰水化氣的時候，必定有很多霧氣發生，這種霧氣也是遮斷日光的一種有效的東西。於是地球的一半，就要成漫天漫地的冰雪世界了。

就理論上說，冬夏二季的長短，與夫平均溫度的差，并不要十分大。祇要冬季所積的冰雪在夏季不完全融化，年積一年，終久冰川現象必要發生。現今火星上南北兩半球冰蓋的消長，可算是這種理論的明證。

一直到現在，我們說的都是天上的話，這些話在地上果然應驗了麼？地球的過去時代果然有冰期循環疊見麼？如若地質時代果然有若干個冰期，那麼，我們也可用這種天文學上的理論來定地球各冰期到現今的年代，這件事我們不能不問地質家。

天文家這場話，好像是應驗了。地質家曾在世界上各處發見昔日冰川移動的遺痕。遺痕最著的，就是冰川之旁，冰川之底，冰川之前，往往有亂石泥土，或成長堤形，或散漫而無定形。石塊之中，往往有極大極重的，來自數千百里之遙，尋常河流的力量，決不能運送

那樣大的石塊到那樣遠的地方。又由冰川運送的石塊，常有一面極平滑，而其餘各面，則稜角峭礪，平滑的一面，又常有摩擦的痕迹。冰川經過的地方，若猶未十分受侵蝕剝削，另有一種風景。比方較高的山嶺，每分兩部，上部嵯峨，而下部則極形圓滑。谷每成U字形。間或有邱墟羅列，多帶圓長的形狀。而露岩石的地方，又往往有摩擦的痕迹。諸如此類的現象，不一而足，這是專門地質家的事，我們現在不用管他。

在最近的地質時代，那就是第四期的初期，也可說是初有人不久的時候，地球上的氣候很冷。冰川冰海，到處流溢。當最冷的時候，北歐全體，都在一片琉璃之下，浩蕩數千萬里，南到阿爾卑斯、高



第四期  
初冰期  
宜昌  
南流  
附近  
之  
遺  
迹  
紀

加索一帶，中連中亞諸山脈，都是積雪皚皚，氣象凜冽。而在北美方面，亦有浩大的冰川流徙：一支由臘布刺多 (Labrador) 沿大西洋岸南進；一支由岐瓦廷 (Keewatin) 地方，向哈得孫 (Hudson) 灣流注；一支由科的勒拉斯 (Cordilleras) 沿太平洋岸進行。同時南半球也是一個冰雪漫天的世界，至今南澳、新西蘭、安第斯 (Andes) 山脈以及智利等地，都有遺迹。甚至熱帶地方，如非洲中部有名的高峯乞力馬扎羅 (Kilimanjaro) 的雪線，在第四期的初期，也是要比現在低五千多英尺。

由第四期再往古代找去，沒有發見冰川的遺迹。一直到古生時代的後期，那就是石炭紀的中葉 (Perno-carbonifero)，在澳洲、印度、非洲、南美都有冰川流行的事。再往古代找去，又有許多很長的地質時代，未曾留下冰川的遺迹。到了肇生世的初期，在中國、長江中部、那威、坎拿大、澳洲等地，又有冰川現象發生。過此以往，地層上所載的地球的歷史，到處都是極形模糊，我們再沒有得着確實的冰川流行的遺迹。

那麼，現在我們的問題，就是這些地質學上的事實，到底是否與天文學上的理論相合？主張地上氣候變更是天文上的緣故的那一位大將克洛爾 (James Croll)，以他所算出最近的時期，就

是八萬至二十四萬年（前已說過）爲最近的冰期距現今的年限。我們再把他這個數目與地質家求出的數目比較。

地質家求最近冰期距現今的年限，共有幾種方法。這幾種方法之中，似乎以德基耳（De Geer）所用的爲最精密而且最有趣味。在第四期的初期，挪威與瑞典全土，連波羅的海一帶，都是埋在冰裏，前已說過。後來北半球的氣候漸漸溫和，那個大冰塊的南頭，逐年往北方退縮。當其退縮的時候，每年留下紀念品，所謂紀念品，就是粗細相間的停積物。

當春夏的時候，冰頭漸漸融解。其中所含的泥土砂礫，隨着冰釋而成的水向海裏流去。粗的質料，比如砂礫，一到海邊就要沉下。而較細的質料，懸在水中較久，春夏流水攪動的時候，至少有一部分極細的泥土不能沉澱。到秋冬的時候，冰頭凍了，水流止了，自然沒有泥土砂礫流到海裏來。於是乎水中所含的極細的泥土，也可漸漸沉下，造成一層極純淨的泥，覆於春夏時所停積的砂礫之上。到明年交春，冰又漸漸融解，海邊停積的情形又如去年。所以每一年停積一層較粗的東西和一層較細的東西。年復一年，冰頭漸往北方退縮；這樣粗細相間的停積物，也隨着冰頭，漸向北方退縮，層

上一層，好像屋上的瓦似的。

德氏用了許多苦工，從瑞典南部的斯坎尼亞 (Scania) 海岸數起，數了三萬五千層泥，屬於冰期的末造。由冰期以後，一直到今日，約計有七千層的停積。然則由冰頭退抵斯坎尼亞到今天，一共經過了一萬二千年。斯坎尼亞以南的停積，為波羅的海所掩蓋，德氏的方法，不能適用。再南到德國的境界，這個方法也未曾試過。冰頭往北方退縮的遲速，前後彷彿不是一致，愈到北方，有退縮愈急的情形。比如在瑞典首都斯德哥爾摩 (Stockholm)，退縮的速度，比在斯坎尼亞已經快了五倍。按這樣推想，冰頭在斯坎尼亞以南的時候，比在斯坎尼亞應還要慢些，所以要退出與在斯坎尼亞相等的距離，恐怕差不多要二千五百年。那有名的地質家索拉斯 (Sollas)，以這種議論為根據，暫定由最後的冰勢最盛時代，到他退到瑞典南岸所費的年限為五千年，然則由最後冰期中，冰勢的全盛時代到現在，至少在一萬五千年以上，實數大約在一萬七千年。在澳洲南部，地質家用別種方法，求出當地自從最後冰期到現在所歷的年數，也是一萬五千至二萬之間。兩處的年數，無論是否偶然相合，總可算得一致。那麼，我們應該承認這個數目有點價值。

現在我們看天文家的數目與地質家的數相差何如，至少要差六萬年。我們知道德氏的方法，是腳踏實地，他所得的數目，比較是可靠的。然則克氏的數目，我們不能不丟下。況且按天文學的理論，地球不能南北兩半球同時發生冰川現象，而在過去時代，我們所知道的三個冰期，都不限於南北一半球。更進一層說，假若克氏的理論是對的，那麼，地球在過去時代，不知已經過幾千百回的冰期，何以地質家在地球上各處找了數百十年，祇發見三回冰期。如若說是冰期的遺迹，沒有保存，或者我們沒有發見，這兩句話未免太不顧地質學上的事實，也未免近於遁辭。

原來地上的氣候，與天文、地理、氣象、三項中，許多的現象，有密切的關係。這三項現象，尋常互相調劑，所以地上氣候溫和。若是三項合起步調，向一方面走，那就能使極端熱，或極端冷的氣候發生。比方，現在的西北歐，若沒有灣流的調劑，雖不成冰期，怕恐與冰期的情形也要差不多了。總而言之，克氏一流天文家所唱的學說，如若不大加變更，大加修正，恐怕純是紙上空談，全以他們的理論為根據去定地球的年齡，正是所謂緣木求魚的一場故事。

天文方面，既不得要領，我們現在就要問地質家，看他們有什麼妥當的方法。

## 四 由累積岩層的總厚求地球自受侵蝕以來所歷的年 齡

地球自受侵蝕以來所歷的年齡，也可說是自水陸劃分以來地球所歷的年齡，這些年齡，地質家統稱曰地質時代。假若我們知道累積岩層的總厚若干，又知道現今每年的停積物固結成岩石時，應厚若干，用後項除前項，豈不是可以求得地球自有停積以來的年齡麼？原則是簡單，然而實際的難處，可算得不少，現在把重要的難處數出來。

累積岩層，由上至下，可分為若干系。那些系，各與某某地質時代相當。層位愈下的，所屬之時代愈古。各時代又有特種生物的遺迹或化石，以為特徵。所以在相隔很遠的地方，我們遇着地層，不難以化石為標準，斷定他在地質時代上的地位。但是到了寒武紀以前所造的地層，這個方法難於適用，因此在寒武紀以前，世界各處所造的地層，頗不容易比較。所以那些地層的總厚，也不容易確實

測出。況寒武紀以前的地層，下部往往經過巨壓，或大熱，致形質變更，我們無從察其原來是由鎔岩凝結而成的，或是累積而成的。所以要求累積岩層的底，已經是不容易的事。

累積岩并不是自始至終，層復一層，整整的堆積起來。換一句話說，在一地方所有的地質時代，未必都有岩層以爲代表。比如中國北方，志留泥盆兩紀的岩層，都付闕如；而西南方則志留泥盆二紀的岩層，歷歷可考。這樣的間斷，到底與若干厚的地層相當？也是一個不易答的問題。

就岩層構成之質料而論，累積岩層既非一種，他們當初停積的遲速，必然大不相同。據我們現今的觀察，較粗的質料，如砂礫石塊之類，常停積於近岸之處，他們停積當然較速。較細的質料，如泥砂等物，停積的地方離岸較遠，其停積較遲。純粹的泥土離岸更遠，其停積更遲。所以種類不同而厚薄相等岩層，各各所代表的時間，迥然不等。

厚薄相等而性質不同的岩層，既是大都不能代表相等的時間，我們測量各時代所造地層的厚薄，不能不指定一個標準。爲便宜起見，莫妙於按各時代所造最厚的岩層計算。但是一段或一系地層中往往夾各種岩石，比方有一層停積極慢的大洋石灰岩，若要問他與同時所造的某某岩層

若干厚相當，往往無從找出一個可靠的答案。那就是我們所假定的最厚的地層，未必是最厚。況且最厚兩個字，在這個問題上，嚴格講起來，就沒有一定的意義。

難處雖多，我們不能因噎廢食，索拉斯氏曾仔細考查屬於各地質時代各處地層的厚薄，據他的意見，每系地層中之最厚者如次：

	洪荒與最新	四、〇〇〇	英尺
	更 新	一三、〇〇〇	
	次 新	一四、〇〇〇	
	少 新	一二、〇〇〇	
	初 新	二〇、〇〇〇	
	白 堊 紀	四四、〇〇〇	
	侏 羅 紀	八、〇〇〇	
	三 疊 紀	一七、〇〇〇	
		} 共計六三、〇〇〇英尺	
		} 共計六九、〇〇〇英尺	

二疊紀	一二、〇〇〇	
石炭紀	二九、〇〇〇	} 共計六三、〇〇〇英尺
泥盆紀	二二、〇〇〇	
志留紀	一五、〇〇〇	} 共計五八、〇〇〇英尺
奧陶紀	一七、〇〇〇	
寒武紀	二六、〇〇〇	
亞爾良紀	八二、〇〇〇	八二、〇〇〇英尺
玄古	?	?
總厚		三三五、〇〇〇英尺

關於找被除數的種種困難，我們已經略加思索，現在要說到關於找除數這方面的困難。

當頭一件困難，就是我們現在無從直接的查出世界各海洋中每年的沉積物平均厚多少，最厚的又是多少。不得已，我們祇好用間接的方法。自一八七二年至一八七五年察楞澤 (Challen-

Ger.) 科學調查隊發刊他們研究的結果以後，地質家纔知道海底的沉積，分配大不勻。大洋底大半都是烏滓 (ooze)，烏滓的種類，各處不同，大都以海綿輪爪 (Radiolaria)，海蝸 (Foraminifera) 等海洋生物的遺骸，或其軀殼的碎片爲主要的成分。有些海洋生物的軀殼多含矽質，所以較硬而且不易溶化於水中。但是這烏滓停積甚慢，與由大陸上送來的沉積物幾乎絕不混雜。而陸上送來的泥土，大概都停在大陸附近的淺海底上，即所謂大陸架 (continental-shelf) 上。但是大陸架面積的確數，却是不容易測量出來。不要講大陸架全體，就說一個河口所佔的停積面積，也是不容易定奪的。況且停積物的多少，時時變更，非積多年的測量，不能得一個比較可靠的平均數。

姑且不管這些難處，我們且看間接的方法何如。照以前所說海中停積的情形，我們未始不能用各種方法，約略測出海底受陸上泥土的面積，或陸上侵蝕面積與海裏停積的比。假若我們能測出每年陸地被侵蝕失去岩石的量，我們就不難知道每年海裏停積物應增長若干。要知道某地域裏每年受侵蝕而失去的岩石若干，我們不能不調查三件事：(1) 排洩地域的面積，(2) 在那地域中所有各河流每年的排洩量，(3) 各河水中所含的各種岩質若干。河水中所帶的岩質，可

分爲兩項：第一項是溶解於水中的，第二項是漂浮於水中的。溶解於水中的與水中所含岩質全量之比，名曰侵蝕比。據多爾(Dole)及斯塔布勒(Stabler)實地測量的結果，侵蝕比似乎是一個恆數，尋常在0.3左右。有人曾分析各種新鮮的岩石及其疏解後的剩餘，其結果，也是剩餘居新鮮岩石百分之七十，那就是百分之三十溶解了。這個實驗，恰好證明侵蝕比是在0.3左右。

排洩地域	排洩面積 (以平方英里爲單位)	每年失去岩質的重量 (以百萬噸爲單位)		侵蝕比
		溶解的	沉浮的	
U. S. A.	3,088,500	24.5	468	0.34
Mississippi	1,265,000	122	304	0.29
Nile	1,100,000	21	52	0.29
Uruguay	150,000	7.5	15	0.33
Rhone	34,800	85	36	0.19

河水中含帶的質料，分溶解的與漂浮的兩項，上已說過。此兩項之中，漂浮項下的變更甚大，有時一年的平均數，比逐年的平均數多百分之五十，而一時甚至過漲平均數五倍。溶解項下的變更，到沒有這樣的大，與逐年的平均數比較，尋常總在百分之十以內。所以我們的計算，還是先求變更較少的溶解量，再由溶解量推出總侵蝕量，較為妥當。

現今全球每年由陸上送到海裏的岩質，據一八七九年里德 (Mellard Reade) 初次計算的結果，為  $5280 \times 10^6$  噸；後來墨累 (John Murray) 從分析世界上十九個主要河流的結果計算，得  $4975 \times 10^6$  噸；近來克拉克 (F. W. Clarke) 研究這個問題最詳，其所得的結果如次：

大	陸	溶解侵蝕量(以噸為單位)	
		全	面
北	洲	423 × 10 <sup>6</sup>	70.5
南	洲	182 × 10 <sup>6</sup>	45.5
美	洲	6,000,000	
美	洲	4,000,000	

歐 洲	3,000,000	$270 \times 10^6$	90.0
亞 洲	7,000,000	$525 \times 10^6$	75.0
非 洲	8,000,000	$320 \times 10^6$	40.0

據墨累的計算，全球陸地共有  $55.7 \times 10^6$  方英里，其中約有七分之二為無雨的地方，及大陸中的盆地，對於海洋不能供給沉積物，所以其餘能供給沉積物的地面約共有  $40 \times 10^6$  方英里。假定這個數目可靠，我們再用克氏所得的每年每方英里平均溶解岩石的噸數 61 乘他，那是海洋裏每年應增加  $244 \times 10^7$  噸可溶解的質料。但是這些可溶解的東西，有一部分是由空氣中取去的，比如  $\text{CO}_2$ , O 等成分，這一部分既不屬於岩石本身，是由外界加入的，應當由  $244 \times 10^7$  噸中減出。但是這些數目比較甚小，而我們以前的計算，都很粗略，所以現在百分之四五的差，儘可不必管他。

我們既承認 0.3 為平均侵蝕比，又承認  $244 \times 10^7$  為每年岩質溶解於海水中的噸數，然則

每年與水沉浮而流入海中的岩質，應爲  $\frac{1}{0.3} \times 244 \times 10^7$  即  $57 \times 10^8$  噸。另從一方面着想，北美洲現在平均離海面的高，與世界各處平均離海面的高大約相等，陸地受剝削之率，既與其離海面的高低有一定的關係，所以北美的平均剝削率，應與全球的平均剝削率相近。看克氏的數目，北美的剝削率雖較平均數稍高，然在各洲之中，還是以北美之剝削率與平均數最近。現在我們就以北美的剝削率爲全球的平均剝削率，再用全球受侵蝕剝削的地面乘之，我們的得數就是  $60 \times 10^8$ 。這個數目居然與以前用別法所求的數目相似，所以我們敢大膽說我們所得的結果不至大錯。

現在把我們已經求出的數目列出來：

每年溶於水中的岩質……………  $25 \times 10^8$  噸。

每年與水沉浮流入海中的岩質……………  $60 \times 10^8$  噸。

共計……………  $85 \times 10^8$  噸。

以上所說的停積物，都是由河流送到海裏來的。還有一項要緊的侵蝕作用，每年因這種侵蝕所毀壞的岩石不少，那就是海岸所受的海洋侵蝕。對於這種海洋侵蝕的比，地質家的意見都不相

同。克洛爾 (Croll) 說英國的海岸每百年平均失去三英尺。基啓 (A. Geikie) 假定每百年失去十英尺。瓦特 (W. W. Watt) 說英國的海岸每年平均退縮一英尺。這些數目相差既如是之大，我們祇好把他們的平均數當全世界海岸的侵蝕率。現在全世界的海岸線約長125,000英里。假定海岸平均高150英尺。如若用基氏的數目爲平均海岸侵蝕率的數目，那是大陸每年要被海洋咬去  $700 \times 10^6$  噸左右的岩石。由大陸上送到海裏極細的泥土有一小部分超過大陸架的範圍，落到深洋底去，他的分量，確是極小，由岩質的分配比着想，陸上來的岩質落到大洋底的大約占全體  $\frac{1}{30}$ ，那就是差不多  $300 \times 10^6$  噸。還有許多可溶解的鹽類，比如  $\text{CaCO}_3$ ，和  $\text{NaCl}$  之類，應有若干量溶解於海水中，不成停積物；至若溶解的分量，從各方面看起來，應該在  $200 \times 10^6$  噸以下。這兩項都不停積於大陸架上，應與海岸侵蝕所產生的相抵消，所以結果還多  $200 \times 10^6$  噸。再把這  $200 \times 10^6$  噸與前得的總量相加，我們就得大陸架上每年停積的總量爲  $8700 \times 10^6$  噸。其餘或者還有由風力送的，以及時時由火山送來的停積物等類，雜七雜八，我們再給他  $300 \times 10^6$  噸，湊成一個簡單的數目  $9,000 \times 10^6$  噸。因爲我們所選的被除數都是最大的數合成的，所以現在選除

數寧可失之稍大，不可失之過小。爲便於計算起見，我們現在定全世界的海岸線爲 100,000 英里；大陸架據各方面調查，平均大約寬 100 英里；那是海裏的停積面積總共有  $10 \times 10^6$  方英里。將陸上來的  $3000 \times 10^6$  噸岩質平均的數在這個面積上，假定他固結後平均的比重爲 2.5，那是每年停積在大陸架上的岩質固結成岩石後，平均厚 0.000457 英尺。換言之，就是在大陸架上停積平均厚一英尺的岩石需 2,200 年。我們另有理由暫定停積物平均的厚只居最大厚度五分之一，所以最快的停積率是每 880 年一英尺。尼羅河及波河口的淤泥中，曾發見人類的遺物，古物家考究出來，那些遺物確屬於人類歷史中某某時代。按那些遺物所屬的時代至現今的年代計算，在尼羅河口大約每 320 年，未固結的停積物加厚一英尺。在波河口的每 174 年加厚一英尺。我們知道許多事實足以證明波河流域的侵蝕率是格外的大，而尼羅河口發見古物處的停積率，適足爲大陸架上平均的停積率之代表，然則以前由理論上求出的數目竟與實測的數目差不多。

我們所要的除數，現在找出來了，但是我們的難處還沒有了結，什麼難處？用  $\frac{1}{880}$  除總共最厚的地層，豈不是爽爽快快求出  $300 \times 10^6$  年爲地球是海陸劃分以來到今日的年齡麼？稍加思索，

我們還要發生疑惑，姑且先把可疑的地方說出來，再看我們能否加以解釋。

首先我們就要問過去那樣長的年代，陸地上受侵蝕剝削的情形，是否同現在一樣？現在最大的停積率，是否能代表過去各地質時代的停積率？提起這兩個問題，竟直把地質學的根本都搖動了。從前的地質大家都以為在過去時代，地球上有些極大的變亂，把生物一齊都撲滅了，並且把地面的形象驟然改換了，好像我們中國每朝之末，必要發生許多流賊，到處殺人放火，好好的世界，要給他們弄得零落不堪；過了一時，經一番收拾，局面又變了，萬事又興旺了；但是再過若干年代，又不免破壞，如是循環不已。在地質學上，這樣的破壞說 (cataclysm)，以屈費兒 (Cuvier) 主張最力。後來地質家集了許多事實，經了許多的研究，來伊爾 (Charles Lyell) 纔出來發表他的意見。他說：據現今地球上流行的種種現象，足以說明地質學上的種種事實，地質時代的變更與現在的變更，並無差異。各種地質上的現象，繼繼承承，與時漸進，固無所謂驟然的破壞時代。是名曰勻進說。前已提及，現代地質學的原則，就在這裏。

我們可以約略拿幾件事實，證明地質力的活動，古今無大差異。地質力可分為兩種說：第一種

可稱爲內力 (hypogene)，第二種可總名曰外力 (epigene)。內力的效用使地殼變動，或起或落。原來陸地與平均海平而高低之差，除受剝削的影響以外，並不是千古不變的，現在我們佔的這塊地，就在變動，不是往上升，就是往下降，因爲動的很慢，所以我們不覺得。例如瑞典的首都斯德哥爾摩，每百年升高六英寸，而日非勒 (Gefle) 地方每百年升三英尺。然則慢的程度，可想而知。

外力的效用：一面使岩石腐壞，一面使腐壞的物質停積，包含風雨的摧殘，河流的衝激，轉運，湖海收容等作用。我們細考古代累積岩層的原料，與現在海中的停積物，並沒有特別的差異，他們堆積的情形，前後可算得是一個程式。岩層中所夾的遺迹，許多能直接或間接表示古代的氣候，雖時有寒暑之別，然概而言之，與現今也無大不相同的地方，是所謂勻進說。

勻進說的根據極多，伊爾 (Lyell) 已經一一詳加討論，現在的地質家大概沒有人同他反對。現在的問題，就是到什麼程度，勻進說可以適用呢？拉姆則 (A. O. Ramsay) 說：「從玄古 (Laurentian) 時代到今天，地球上物質的變象，無論就種類而言，或程度而言，沒有什麼與我們今天所經歷的不同。」這幾句話我們雖不能遽然贊同，然而仔細的把種種地層學上的事實審察一

番，至少我們敢說各地質時代平均的侵蝕率，或停積率不致大於現今的侵蝕率或停積率。至於現今的侵蝕率或停積率，是否比從前平均的侵蝕率或停積率還大，確是一個問題。

據叔刻特 (C. Schuchert) 研究古代地理的結果，自寒武紀以至今日，北美洲平均的面積，約與現在面積五分之四相等；歐亞大陸上由古生世的末造，到第四紀的初期，有一個極大的地中海，名曰亞歐地中海 (Tethys)，由中國北部經中亞各地，與現今的地中海相接；非洲北部也有一部分淹沒在這大地地中海裏邊；其餘還有許多的事實；彷彿表示在地質學上的古代歐亞大陸的平均面積，比現今的面積的五分之四還小。我們固然可說海陸遷移，地質學上屢有明證，古代的大陸上既有大海，我們焉能斷言現在的大海裏沒有古時大陸。但是有一件事很可令人注意，那就是中國北方古生世的海洋生物，多與北美西部古生世的海洋生物有密切的關係，而西北歐的古生世生物，又多與北美東部的古生世生物相關密切。由這件事實推想，我們不能不疑太平洋與大西洋的存在甚古。換句話說，就是在地質時代海陸的變遷，或者僅限於現今的淺海，及現今的大陸地方。我們如若承認這一說，那不會承認地質時代海陸的變遷，就是大陸架的變遷。照前說地質時代陸地

平均的面積比現在的面積小，然則在各地質時代大陸架平均的面積，應比現在的大。假若在地質時代大陸離海面的平均高度與現今大致相等，那麼，在地質時代的停積率比現今的停積率應該較小，況且海陸高低的差，在各地質時代往往小於現在的差，河流運轉岩質的力量，據實驗的結果，與他的速率的六幕爲比例，那麼，現在的停積率比過去時代的平均停積率，又不知應該大若干倍。

現在大陸各處的石灰岩可算得不少，假若造成石灰岩的石灰，原來都是由凝結岩裏出來的，那是極古的地質時代，每年溶解侵蝕率比現在應較小，因爲我們可以推想最初幾次海陸循環，不合有許多易於溶解的石灰岩存在。

現在地球上活動的火山，可算得不少，單就太平洋一方面而說，地理家早有太平洋火圈 (Pacific ring of fire) 的名目。大陸上的山脈，也算得不少，由北美至南美，沿着太平洋岸都是山脈，由歐洲的阿爾卑斯一直接中國的崑崙秦嶺，東西橫亘數萬里，都是奇峯絕壁。我們回顧各地質時代，自寒武紀以來，除泥盆紀之初 (Caledonian 或 Taconian) 大煤紀中葉 (Hercynian) 及第三期中葉 三大世界改造時期而外，地球內力的活動，似乎都沒有現在這樣的激烈。所以現在地球外力的活

動，也當然比古代平均起來，要利害多了。

照這樣看來，我們以前求出的數目，每八八〇年停積一英尺，比以前各地質時代平均每年停積的厚，恐怕要大許多，那就是地球上自侵蝕開始以來，不只  $300 \times 10^6$  年。

按累積岩層的總厚求地球的年齡，在各種求地球年齡的方法中為最老，用這個方法求地球年齡的人也最多。但是他們所得的結果，有許多相差未免太遠，因此我們不能不疑惑這個方法到底是否可靠。

計 算 者 名	遞積岩層的總厚 (最厚的)	每年積一英尺所需 的年數	總年數 (以百萬 為單位)
非歷普斯 (Philips)	72,000	1332	96
赫胥黎 (Huxley)	100,000	1000	100
拉帕梭 (Lapparent)	150,000	600	90
基啓 (Geikie)	100,000	750—6800	78—680

馬岐 (McGee)	264,000	6000	1,584
佐力 (Joly)	265,000	300	80
索拉斯 (Solias)	335,800	200	80

四 由累積岩層的總厚求地球自受侵蝕以來所歷的年齡

## 五 由海中所含的鹽量求地球上自有海洋以來的年齡

現今海洋的總體積，據各方面的調查，大概是 307,496,000 立方英里，海水平均的比重約為 1.026，由這兩個數目可求得海水的總重量為  $1,178,270 \times 10^{12}$  噸。這些噸海水之中，溶有許多鹽類，按各處海水分析的平均結果，不難求得海水中所含的某種鹽類的總分量。又據實地測量的結果，我們知道現今世界各河流的總排洩量大約在  $24.8 \times 10^{12}$  噸左右，再按各河流分析的平均結果，又不難求得每年某種鹽類在海洋中增加的分量。我們現在擇幾種最重要的鹽類，把他們的基性成分與酸根分開列表如次：

物 質	每年增加的重量（以百萬噸為單位）	海洋中溶解物質之總量（以百萬噸為單位）
Mg	83	1,535

Ca	497	490
Na	159	15,550
K	37	454
Cl	138	22,800
Br	—	78
SO <sub>4</sub>	857	803
CO <sub>2</sub>	299	3,172

這些溶解的物質，除食鹽以外，大都是經幾次變化，終久沉積在海底。比如海洋的生物，有許多吸收石灰（CaCO<sub>3</sub>），做他們的軀殼，他們死後，石灰仍落在海底，成石灰岩。唯有食鹽，不生何等的變化，一到海裏，就有永遠溶在海水中的傾向。一七一五年時，嚇列（Edmund Halley）首先說到世界的年齡，或者可由海水的鹽分裏找出來，但是他那時沒有計算的材料，不過說了一句空話就

完了。到里德 (M. Reade) 的手上，纔着實用這個方法求地球的年齡，然而也是因為根據的材料不甚可靠，所以他所得的結果不佳。一八九九年，佐力 (J. Joly) 把這個問題又提起來了，並從各方面詳加一番研究，他所得的結果，自然是較有價值，現在我們最好是把佐氏的方法，仔細的斟酌一番。

求海水中所含的鈉質，是比較容易的事。我們所當知道的有兩項數目，第一是海水平均的成分，第二是海水的質量。據許多分析的結果，各處海水的成分大抵相若，關於第一項，我們沒有很多疑問。至若海洋的深淺，已經探過的地方不少，所以就各處已知的深淺所求得的平均數，與真正的平均深淺，決無大差。假若海陸初分的時候，海中絕無鈉質，那是由初有海洋到今日海中所溶的總鈉量，立刻就求得，如若用公噸計算，這個數目就是  $1,535 \times 10^{18}$  公噸（佐力所用的數目。）

其次，我們就要問每年由陸地送到海裏去的鈉量若干。送到海裏的鈉量，可分為兩途：一大部分由河流送出，一小部分係在海濱被潮汐洗去。先說由河流送出的，現在我們關於世界上所有河流的排洩量的調查，不幸極不完全。不得已，我們祇好以墨累 (John Murray) 關於世界上十九

大河分析及測量的結果爲根據，那就是 27,191 立方公里由這裏可求出每年由河流送到海裏的鈉質爲  $15,976 \times 10^4$  公噸，被潮汐洗到海裏去的，大概頂多不過占河流送出的百分之三。

用每年送到海裏的鈉量除海裏的總鈉量，所得的數應該就是地球自有海洋以來的年齡。但是這個問題不是那樣簡單就可以了事。除數和被除數都應有許多改正的地方，我們現在只舉幾項重要的出來。

每年由河流送到海裏的鈉，並非都是由岩石裏出來的，也並非都是頭一次到海裏去的。這種由陸而海，由海而陸，又由陸而海的鈉，名曰循環鈉。累積岩中所夾的鹽質，暫且丟開，我們現在單說由海裏被風吹到陸上，和雨一齊落在地面，再由河流送到海裏去的一項循環鈉。這項鈉既不是由岩石裏出來的，當然非由除數裏減去不可。要知道風吹上陸的鈉究竟多少，除分析各處雨水而外，別無良法。現在我們關於各處雨水詳細的成分，知道的是有限極了。所以我們不能不用間接的方法，求風吹上陸的鈉量。

印度有某處，離海岸三百英里，那地方雨水中所含的氫氣，占全體千萬分之四，而在英國往往

多至千萬分之一〇到二一〇〇，甚至更多。大概離海岸愈遠的地方，雨中所含的氫氣愈少。世界各河流的水源地，離海岸平均約在三百英里以上，按上述的印度某處的情形，我們現在暫定千萬分之四爲雨水中氫氣的分量。雨水尋常未歸河流以前，大概平均氯化一半以上，那是將到河流的時候，雨水與其中所含的氫氣，差不多成  $1,000,000:1$  之比。我們無妨暫定這些氫氣與連帶加入河流的鈉彼此比較的分量，等於海水中他們比較的分量，於是可間接求出雨中的鈉量。既求得雨水中的鈉量，現在我們可以把墨累所測得河流中的鈉量加以修改。

據墨累的調查，每年河流排洩  $27.2 \times 10^{12}$  公噸中，含  $84.7 \times 10^6$  公噸氫氣，那是氫氣與總排洩量的比，差不多是  $3:1,000,000$ 。這樣看來，河流中的氫氣約有三分之一是由海洋裏吹來的，在海洋中氫氣與鈉的比，并非  $Cl:Na$ ，即令所有的  $Na$  都與  $Cl$  化合成食鹽 ( $NaCl$ )，還剩下百分之十八的氫氣不能與鈉化合。所以由海上吹到陸地的氫氣，頂多只能含與他百分之八十二相當的鈉，按這樣算來，每年河流排洩的氫氣的三分之一，應與  $15 \times 10^6$  公噸的鈉相當，所以每年由岩石裏出來的鈉應爲：

$$15,976 \times 10^4 - 1500 \times 10^4 = 14,476 \times 10^4 \text{ 公噸。}$$

以上所說的是除數方面應如何改正，現在我們再研究被除數方面應如何改正。

我們方纔已求得河流中的氫氣有三分之一是由海洋裏來的，然則由岩石中吐出來的氫氣應為：

$$84.7 \times 10^6 - 28.2 \times 10^6 = 56.5 \times 10^6 \text{ 公噸。}$$

假若地面自受侵蝕以來，每年送到海裏去的氫氣都是這樣多，那麼，以總年數乘每年送到海裏的氫氣量，應等於海裏現存氫氣的總量。我們現在命每年送到海裏的氫氣為  $c$ ，年代為  $X$ ，海中的氫氣的總量應為  $cX$ ，假若海中氫氣實在的總量為  $C$ ，那麼， $C - cX$  既不是因侵蝕作用送到海裏去的，我們祇好認這些氫氣為海中固有的。這一項氫氣，其初或者曾與氫氣合為  $HCl$ ，當海陸初分的時候，這類酸性的氣質，也許較多，侵蝕作用因之進行較速。

我們若承認這種假定，那就不難算出海岸固有的鈉若干。但施行計算之前，又免不了幾項假定。第一項，假定當海陸初分的時候，岩石界的成分與現今凝結岩平均的成分相似。第二項，假定與

氫氣化合物的主要原質以鋁、鐵、鈣、鎂、鉀、鈉為限。據克拉克 (Clarke) 的調查，現今的凝結岩中，含此等原質的平均分量如次：

原 質	分 量
鋁 Al	7.90%
鐵 Fe	4.43%
鈣 Ca	3.43%
鎂 Mg	2.40%
鉀 K	2.45%
鈉 Na	2.43%

如這些分量的原質都與氫氣化合，那是與鈉化合的氫氣，只占氫氣的總量百分之六·七，所以海陸初分時與氫氣同入海中的鈉應為：

$$\frac{6.7}{100} \times \frac{23}{35} \cdot (C - cX) \text{ 即 } 0.044 (C - cX)$$

由海中現有的鈉量，減去海中固有的鈉量，所餘的就是自海陸劃分以來，逐年流到海裏的總鈉量，命現在海中的總鈉量為 N，每年由河流送到海裏的鈉量有 n（改正的數目），海陸劃分以

來的年代  $X$ ，可由下式求得：

$$X = \frac{N - 0.044(C - cX)}{n}$$

$$\therefore X = \frac{N - 0.044C}{n - 0.044c}$$

上式中  $N = 1,555 \times 10^{18}$  公噸。

$C = 28,796 \times 10^{12}$  公噸。（據 Dittmar 分析海水的結果。）

$n = 14476 \times 10^4$  公噸。（前所求得。）

$c = 56.5 \times 10^6$  公噸。（前所求得。）

從這些數目得：

$$X = 109,000,000 \text{ 年。}$$

每年被潮汐洗到海裏去的鈉量，與每年經人類用過，再流入海中的鈉量，大概都在五百萬噸上下。前一項應加入除數，後一項應由除數中減去，兩者恰可相消，不必加，亦不必減。

以上的計算，我們是假定每年由岩石裏出來的氫氣為  $56.5 \times 10^6$  公噸。如若由岩石裏出來的氫氣實數比這還少，所求的年齡當然更大；但是也有一個限制。我們現在假定河流中的氫氣都是由海裏吹來的，那麼，每年由岩石裏疏解出來，經河流送到海裏的鈉量應為：

$$n' = 159,76 \times 10^6 - \frac{82}{100} \times \frac{23}{35} \times 84.7 \times 10^6 = 114.19 \times 10^6 \text{ 公噸。}$$

同時  $c = 0$ ，因為我們假設氫氣都是由海裏來的，即是假設岩石中無氫氣出來。

$$\therefore X(\text{最大}) = \frac{N - 0.044 C}{n'} = 136 \times 10^6 \text{ 年}$$

從實際上看來，陸上有許多供給氫氣的地方，各種帶氫氣成分的岩石、火山、泉水等等，都能吐出若干氫氣的化合物。所以假定河流中的氫氣都是由海洋吹來，未免過度。然則按墨累測量的結果計算，海洋的年齡，無論如何，總在一萬三千六百萬年以下。

究竟這個數目，還是靠不住的。因為以前所用的計算方法中，含了兩個極重要的假定，那就是：(一) 拿現在每年由岩石裏移到海裏的鈉，當過去每年的平均數；(二) 一經到了海裏的鈉，永

久都溶在海水裏面。這都是與事實不對的。

先說第一件。以前我們已經論到現今地上的侵蝕率，比過去平均的侵蝕率恐怕還要大。如若古今被侵蝕的岩石的種類，及其彼此比較的分量相若，那是現在每年由岩石裏移到海裏的鈉量，應該比過去平均每年移到海裏的鈉量還多。但是過去每年平均入海的鈉量與其餘受侵蝕的產物比較，究竟是否有一定的分量，還要看鈉在各種岩石中的分配如何，各種岩石在地面的分配又何如。凝結岩中平均含百分之二·四三的鈉。已見前表。據克氏的研究，累積岩中平均的鈉分，比凝結岩中的平均數小，累積岩中所含的鈉分較少。而據哈那曼 (Hanamann) 在易北 (Elbe) 河流域實測的結果，由白堊紀 (Cretaceous) 岩層露出的地方，每一方英里送出的鈉量，比等面積花崗岩所占的地方送出的鈉量，多三倍。就大概說，經過累積岩的水中所含的鈉質，常多於由凝結岩而來的水中所含的鈉質。現今世界上凝結岩與變態岩所占的面積，大約居大陸全面積的五分之一。當極古的時代，凝結岩所占的面積，對於當時陸地的全體，或者不祇五分之一。如若當時陸地受侵蝕的情形不比現在劇烈，那是在地球極古的時代，每年由陸上送到海裏的鈉，比現在還要少。所

以拿現今每年各河排洩的總鈉量爲過去各時代每年排洩鈉質的平均量，其結果必致所求的年齡過小。

以上所說的鹽質被風吹到陸上，和雨降下，又流到海裏這件事，可稱爲鈉的小循環。我們還應該想到鈉的大循環。在地質時代，往往有大海變爲內海的事，如現今的裏海，既變爲內海，又因海水汽化過度，於是水中的鹽質沉積成鹽層。比方中國的四川；德國的斯塔斯佛特（Stassfurt）等地，都有這種停積物。這種鹽層的總量，較之現在海洋所含的鹽質的總量，爲數甚小，算與不算，都無大關係，但是夾在海洋停積物裏的，與夫留在泥砂裏而未曾分解出來的鈉質，不可謂少。這些鈉質，隨海陸的大循環而爲循環。所以現在在累積岩層中的鈉質，不知曾經到海裏去過了若干次。假若每次到海裏去所有的鈉質，都是新由凝結岩裏出來的，那麼，現在海洋中的鹽質，不知比現在的實量應多了多少。因之照前法所求出的海洋年齡，又不知要大多少。

這一番議論，在其餘方面，並非絕無證據。凝結岩腐化後所失去的鈉質，大概居凝結岩全體體積的百分之二·五七，現今全世界凝結岩與變態岩所占的面積，約居全大陸五分之一，那就是八、〇

〇〇、〇〇〇方英里。一部分的變態岩是累積岩的化身，所以他們所占的面積，嚴格的說起來，不應和凝結岩列一道，我們姑且不要管他。陸上的侵蝕率，據實際的調查，平均每八、六〇〇年一英尺，那就是每四·五四年一立方英里，亦即  $10,800 \times 10^6$  噸。所以每年至多不過  $37 \times 10^6$  噸。初次到海裏去。用這個數目除現在海中的鈉量，所得的結果，到四萬萬年以上，那是比前法求得的數目大三倍多。固然我們不能逕把現今凝結岩暴露的面積當自玄古以來凝結岩暴露的面積，又不能以現今各種岩石的平均侵蝕率為自玄古以來凝結岩的侵蝕率，所以與其以這一場計算的結果為前一番議論的佐證，不若拿他來表示我們如何變更計算的方法，就能使最終的結果相差若是之大。

地質家求地球年齡的方法大致如此，我們現在進而詳詰物理家的意見。

## 六 據地球的熱歷史求他的年齡

地球上何以這樣的暖？我們都知道是那太陽，無古無今，用他的熱來接濟我們。然則太陽裏這樣彷彿千古不變的熱力是如何來的呢？這個問題，已經費了許多哲學家 and 物理家的思索。他們的思想，從歷史上看來，自然是極有趣味，可惜我們沒有工夫詳細的追究，現在只好說一個大概。

德國有名的哲學家來布尼茲 (Leibnitz) 同康德 (Kant)，都以太陽為一團大火，他所發散的熱，都是因燃燒而生的。自燃燒現象經化學家切實解釋以後，這種說法，當然不能成立。俟後邁爾 (Mayer) 觀察摩擦可以生熱，所以他想太陽的熱，也許是許多隕星常常向太陽裏墜落的結果。但是據天文家觀察，太陽的周圍，並非常常有星體墜落，假若往太陽裏墜落的星體若是之多，太陽的質量必要漸漸增加，這都是與事實相反的。

赫爾姆霍斯 (Helmholtz) 以為太陽的熱是由他自己收縮發展出來的。太陽每年發散的熱

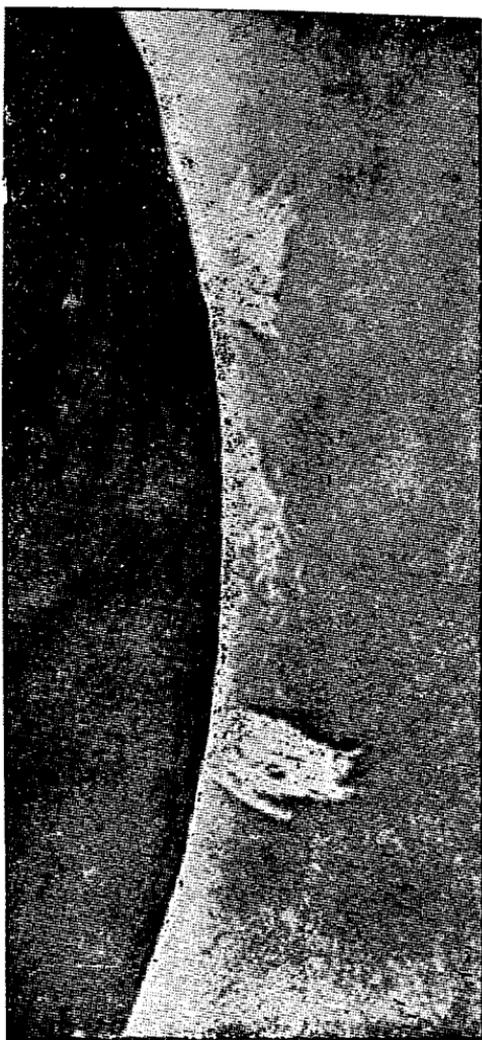
量，可由太陽的射熱恆數 (solar constant of radiation) 求出。赫氏假定太陽當初是一團星雲，漸漸收縮，到了今天，成一個球形，其中的質量極勻。他並算出太陽的直徑每縮短千分之一所生的熱量，可與他每年所失的熱量的二萬倍相當。赫氏據此算出太陽的年齡，大約在二千萬年以下。如若地球是由太陽裏分出來的，當然地球的年齡，比二千萬年還少。克爾文 (Kelvin) 對於這個問題的意見，也與赫氏相似；不過他信太陽的密度愈至內部愈大。

據物理家近來的研究，所有發射原質當發射之際，必發生熱。又據分析日光的結果，我們早知道日中含有氫 ( $H_2$ ) 質，所以我們敢斷言太陽中必有發射原質。因此，有許多人疑發射作用為太陽發熱的主因。據最近試驗的結果，一百萬公分 (grammes) 的鈾 (U) 質在「發射平衡」之下，每一點鐘能生七十七卡路里 (calorie) 的熱，而同量的鈾 (Th) 所發的熱量不過二十六卡路里。太陽每一點鐘每一立方公尺所發散的熱，平均約三百卡路里，這些熱量，假若都是由太陽內的發射原質（如鈾、錒等）裏發出來的，那是每一立方公尺的太陽質中，應有四百萬公分的鈾。但是太陽平均每一立方公尺的質量只有一、四四〇、〇〇〇公分，即令太陽的全體都是鈾做成的，由這

種物質所生的熱僅能抵當他所消費的熱量三分之一。所以發射物質發生的熱爲太陽現在唯一的熱源，所差未免太多。

據阿耳希尼 (Arrhenius) 的意見，太陽外面的色圈 (chromosphere)，大概都是單一的物

第五圖 太陽表面之氣泡



一九〇〇年五月二十八日 E. E. Barnard 氏攝影

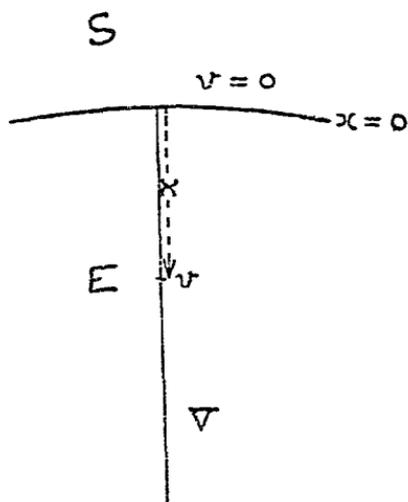
質集合而成的。他的溫度，約在攝氏表六千度至七千度。其下的映象圈 (photosphere) 裏的溫度，或者高至九千度。愈近太陽的中心，溫度和壓力愈高大。太陽平均的溫度據阿氏的學說計算，比外面色圈的溫度應高一千倍。在這種情形之下，按沙特力厄 (Le Chatelier) 的原則推測，太陽中部，應有特別的化合物，時時衝到外部，到溫度較低的地方爆裂，因之生熱。我們用望遠鏡往往看見太陽的表面有凸起的地方，或者就是這種衝出的氣疣。這種情形，如果屬實，那是我們現在從熱的方面，無法可以算出太陽自有生以來所歷的年代。

關於這個問題，近年法國物理家拍藍 (Perin) 氏利用原子論和相對論作了一番有趣的計算。拍氏因為天文家斷定許多星雲都是由氫氣組成的，所以假定化學家所謂的種種原素都是由氫氣凝結而成的。氫的原子量是一·〇〇八，而氮的原子量是四·〇〇，那是由氫而變為氮，失掉若干質量，質量就是能力，這些能力當然都變成熱。照這樣計算，拍氏算出太陽的壽命為十萬兆年，地球年齡的最大限度，應為這個數目的若干分之一。但是我們若要從熱的方面求地球自身的年齡，還不能不從地球自身的熱量着想。

我們都知道到地下愈深的地方溫度愈高。地溫增加的率隨地多少有點不同，淺處的增加率與深處的增加率當然也不等。據各地方調查的結果，距地面不遠的地方，平均每深三十五公尺溫度增加攝氏一度。

從這種事實，又從熱能力衰退（*degradation of energy*）的原則着想，克爾文根據伯松（*Poisson*）的假說，追溯地球從前必有一個時期，熱度極高，而且全體的熱度均勻，後來他的熱能力漸漸發散，所以表面結殼，失熱愈多，結殼愈厚。按固質傳熱的定律，克氏曾算出地球自初結殼到今日的年齡，他計算的方法大致如次：

如第六圖，假定地球（*E*）原為一個均勻的熱體，那時全體的溫度都為 *V*，在溫度等於零的無限空中冷卻。這個熱體的半徑既是甚大，他冷卻的情形應該與傅立葉（*Fourier*）



第六圖

所說的無限平面接觸傳熱的情形相當，那就是兩個溫度不同的地方  $E$ ， $S$  有平面間隔於其間。如圖  $E$  爲地球， $S$  爲太空，今向  $E$  的方面作垂線與間隔平面垂直，於是間隔平面的方程式爲：

$$x = 0.$$

現在我們所求的就是從  $E$  初冷到  $t$  時後，距間隔面  $x$ （向內）處的溫度  $v$

祇要  $x \geq 0$

$$t \geq 0$$

$v$  總是  $t$  和  $x$  的函數，即

$$v = f(t, x)$$

$t = 0$  時，

$$v = V$$

$t \rightarrow 0$  時，

表面的溫度即

$$v(x=0) = 0$$

▽能適合的部分微分方程式恰是傅氏的直線傳熱方程式：

$$\frac{dv}{dt} = K \frac{d^2v}{dx^2}$$

前式中  $K = \frac{k}{\rho s}$ ， $\rho$  為質量， $s$  為比熱， $k$  是一個恆數與傳熱間壁的比熱及其傳熱率有關係。

$\frac{dv}{dx}$  為地溫增加率的反數，我們假若命

$$\frac{dv}{dx} = u$$

$u$  當然也可適合於前列的部分微方程式，那就是

$$\frac{du}{dt} = K \frac{d^2u}{dx^2} \dots\dots\dots (1)$$

$t=0$  時，

$$v = v$$

若  $x > 0$

$$v = -V \quad \text{若 } x < 0$$

( $x$  爲  $v$  的奇函數)

若  $x = 0$  時, 函數  $u$  與  $x$  的關係如次:

若  $x > 0$ ,

$$u = 0$$

若  $x < 0$ ,

$$u = 0$$

若  $x = 0$ ,

$$u = \infty$$

..... (2)

現在的問題, 就是要找出一個  $x$  與  $t$  的函數  $u$  能適合於 (1) (2) 兩種條件, 下列的函數就是那種函數:

$$u = \frac{A}{\sqrt{t}} e^{-\frac{x^2}{4kt}}$$

(式中  $A$  是恆數)

所以我們得下列的方程式:

$$V = \int_0^{r_x} u dx = A \int_0^{r_x} \frac{1}{\sqrt{t}} e^{-\frac{x^2}{4kt}} dx$$

要定 A 的數值，莫妙於從最初的情形著想，那時熱質渾沌，方冷未冷，那就是在  $x = 0$  的地方

$$v = V$$

$$\therefore V = A \int_0^r e^{-\frac{x^2}{4kt}} dx \left( \frac{x}{\sqrt{t}} \right)$$

由上式得：

$$A = \frac{V}{\sqrt{\pi k}}$$

所以

$$V = \frac{V}{\sqrt{\pi k}} \int_0^x e^{-\frac{x^2}{4kt}} dx$$

依前式  $x=0$  時，(即在地面) 地溫增加率之反數可以左式求之：

$$\left(\frac{dV}{dx}\right)_0 = \frac{A}{\sqrt{t}} \\ = \frac{V}{\sqrt{\pi k t}}$$

據調查的結果，現今地面各處平均的溫度增加率，大概每三十五公尺為攝氏一度。又據克爾文試驗各種岩石的結果， $k=40$ 。

若以年為時間的單位，公尺為長的單位，即得

$$\left(\frac{dV}{dx}\right)_0 = \frac{V}{\sqrt{40 \pi t}}$$

$$= \frac{1}{11} \sqrt{V}$$

命  $\left(\frac{dV}{dx}\right)_0 = \frac{1}{35}$

即得  $V = \frac{11}{35} \sqrt{t}$  差不多等於  $\frac{3}{10} \sqrt{t} \dots\dots\dots (3)$

照上式看來，地球將冷未冷時的溫度（那時全體溫度相等，與自他初冷到今天所費的時間的平方根為比例。我們在地面所見的各種物質，到攝氏三千度的溫度，大概都要熔化，所以我們現在假定當地球初結殼的時候，他的溫度  $V = 30000^\circ \text{C}$ 。

依 (3) 式得

$$t = 100,000,000 \text{ 年。}$$

對於這一番計算，我們有幾層不滿意的地方：

第一層，地球的面積既屬有限，而傅立葉 (Fourier) 的直線傳熱方程式，只適用於無限平面。

然則根據傅氏的方程式所求得的结果，與事實多少不無齟齬之處。不過相差有限，這一層抗議尚不十分重要。

第二層，假定地球為一團溫度勻一的熱質，忽然從天外飛來，到溫度等於零的空中冷卻結殼；自結殼後表面溫度，永久等於零。不用講這種情形難於想像；就說事實，地殼上的溫度確比零高。所以地球的冷卻，應比按前法算出的還慢。

第三層，前式中 $K$ 為固質傳熱率（ $k$ ）的函數，克爾文以實驗求得若干種岩石的平均傳熱率 $k = 0.0058$ （C. G. S. 單位）。但是 $k$ 的值與溫度壓力都有關係。就我們所知道的範圍而言，這兩項對於傳熱率的影響相反而且大致相等；那就是溫度愈高傳熱率愈小，壓力愈大傳熱率愈大。尋常的情形雖是如此，到溫度壓力極高的時候， $k$ 是如何變更，我們卻不知道。這一層比前兩層重要多了。

第四層，地球失熱的途徑不僅限於傳導，岩石腐化、固結、變態以及砂質溶解於水中等等作用，都是使地球失熱的原因。有人曾測量每一公分的岩石，在大氣中疏解，平均有120卡路里的熱發

洩出來。如此失的熱在克氏計算之中，絕未計及。

第五層，各種岩石多少都含有放射物質，這些放射物質，時時爆裂，時時生熱，單就銽質說，在發射平衡之下，每一公分每一小時發出 216 卡路里的熱，試命地球每一立方公分體積中平均所含的銽質每一秒時所發的熱量為  $Q$ ；地球的半徑為  $r$ ；近表面的溫度增加率為  $\frac{d\theta}{dr}$ ； $k$  為表面岩石的傳熱率，假如地面所失的熱恰好由銽質發出的熱填補，那麼，

$$4\pi r^2 \times k \times \frac{d\theta}{dr} = \frac{4}{3} \times \pi r^3 Q_0$$

由上式得  $Q =$  每秒時  $6 \times 10^{-15}$  卡路里

即每一小時  $2.16 \times 10^{-11}$  卡路里

所以只要地球的體積每一立方公分中平均有  $10^{-13}$  公分的銽質，那就是每一公分的岩石中平均有  $1.8 \times 10^{-14}$  公分的銽質，地球的熱量得失適足相抵。

然而據斯特拉特 (Strutt) 佐力 (Joly) 諸氏實測的結果，各種岩石中所含的銽，比前數平均多一百餘倍，那就是地殼的溫度，非獨不減，並且應逐年增加。

各種凝結岩每一公分中所含的銩量表（以一公分為單位）

實測人名	酸性岩	中性岩	鹽基性岩	非常鹽基性岩
斯特刺特 (Strutt)	$2.95 \times 10^{-12}$	$2.25 \times 10^{-12}$	$0.52 \times 10^{-12}$	$0.46 \times 10^{-12}$
夫勒折 (Fletcher)	$0.85 \times 10^{-12}$	$0.85 \times 10^{-12}$	$0.71 \times 10^{-12}$	—
佐力 (Joly)	$3.01 \times 10^{-12}$	$2.57 \times 10^{-12}$	$1.28 \times 10^{-12}$	—
和說茲 (Holmes)	$2.80 \times 10^{-12}$	—	$0.85 \times 10^{-12}$	$0.51 \times 10^{-12}$

各種岩石平均每一公斤所含的銩量及鈾量表（以一公斤為單位）

岩	石	銩	鈾
凝結岩	$2.5 \times 10^{-12}$		$2.0 \times 10^{-5}$
累積岩	$1.5 \times 10^{-12}$		$1.0 \times 10^{-5}$
變態岩	$2.0 \times 10^{-12}$		$1.5 \times 10^{-5}$

細看前表，凝結岩中鹽基性愈重的含銻愈少。從地質學上種種事實推想，凝結岩的分配彷彿與距地面的深淺有關。愈到深處鹽基性岩質愈多。至三十英里以下的岩石，恐怕完全屬於非常鹽基性。又由地震的波動經過地球內部各處的情形着想，我們可推測地球內部的岩石愈到深處密度愈大。大約略言之，可分為兩部分：上部（即地殼）由岩石而成，平均密度約三·四；下部或者全由金屬物質而成，與鐵質的隕星相似，其密度當在七·八左右。基性愈重的岩石，既是含銻愈少，而基性的岩石，愈到深處愈多，所以銻質應愈到深處愈少。到了地球中部由金屬而成的範圍中，或者絕無銻質存在。這并非意外的事。因為我們檢查隨着火山岩流到地面的天然鐵中，不曾發見銻質，足為地球中部無銻質的一種證據。然則銻質的分配限於地殼。地表露出的各種岩石每一公分所含的銻量，自然不能為地球全體每一公分岩石中所含的銻質的平均數。銻質的分配，按這樣說來，既限於地殼，然則這種含銻質的地殼，對於地下的溫度發生甚麼影響？我們現在假定這個地殼的底面不受熱；而他的表面繼續失熱，並維持一定的溫度。任取一單位體積，命其厚為 $\rho x$ ，其距表面的距離為 $x$ ；命單位時間由此單位的體積上面所失去的熱量為 $Q$ ，則由下面而入於此單位體

積的熱量在單位時間必爲  $Q + \frac{dQ}{dx} \cdot dx$ ，再命  $q$  爲單位體積裏所含的銹量， $h$  爲每秒時每一公分的銹質的發生的熱， $A$  爲面積，於是：

$$-\frac{dQ}{dx} dx = qhA dx.$$

即  $-\frac{dQ}{dx} = qhA.$

因  $Q = AK \frac{dV}{dx},$

式中  $\frac{dV}{dx}$  爲距表面深  $x$  處的溫度增加率， $K$  爲傳熱率。

$$\therefore \frac{dQ}{dx} = AK \frac{d^2V}{dx^2}$$

又  $K \frac{d^2V}{dx^2} = -qh$

用積分法得  $K \frac{dV}{dx} = -qh x + C,$

命地殼的總厚爲  $D$ ，在殼底  $x = D$   $\frac{dv}{dx} = 0$ ，

$$\therefore C_1 = qhD$$

故 
$$K \frac{dv}{dx} = -qhx + qhD = qh(D - x)$$

再用積分法時得

$$Kv = qhx \left( D - \frac{x}{2} \right) + C_2$$

$x = 0$  時， $v = 0$ ，故  $C_2 = 0$

$$\therefore v = \frac{qh}{K} \left( D - \frac{x}{2} \right)$$

$x = D$  時，

$$v = \frac{qh}{2K} D^2$$

所以單就銻質發射的影響而言，在地下深三十英里之處，溫度應在攝氏七五〇度上下，這高

溫度與火山的溫度，可算相差不多。

現在我們歸到本題。在以上所說的情形之下，地球現今熱狀不外三項：（1）所失的熱比因放射物質爆裂所得的熱少，那就是地球的熱度年年增高。（2）所失的熱比因爆裂所生的熱多，那就是地球的熱逐年下降。（3）所失的熱與因爆裂所生的熱相等，那就是成一種平衡的狀況。我們有若干種理由證明（1）項不或成立，（2）項按以前的計算，也似與現情不合，惟有（3）項的情形，在地球的長歷史中無時無適合的傾向。

據此以推，我們現今無從知道地球在熱平衡之下已經過了若干年。這第五層抗議簡直要致克爾文的學說的死命。

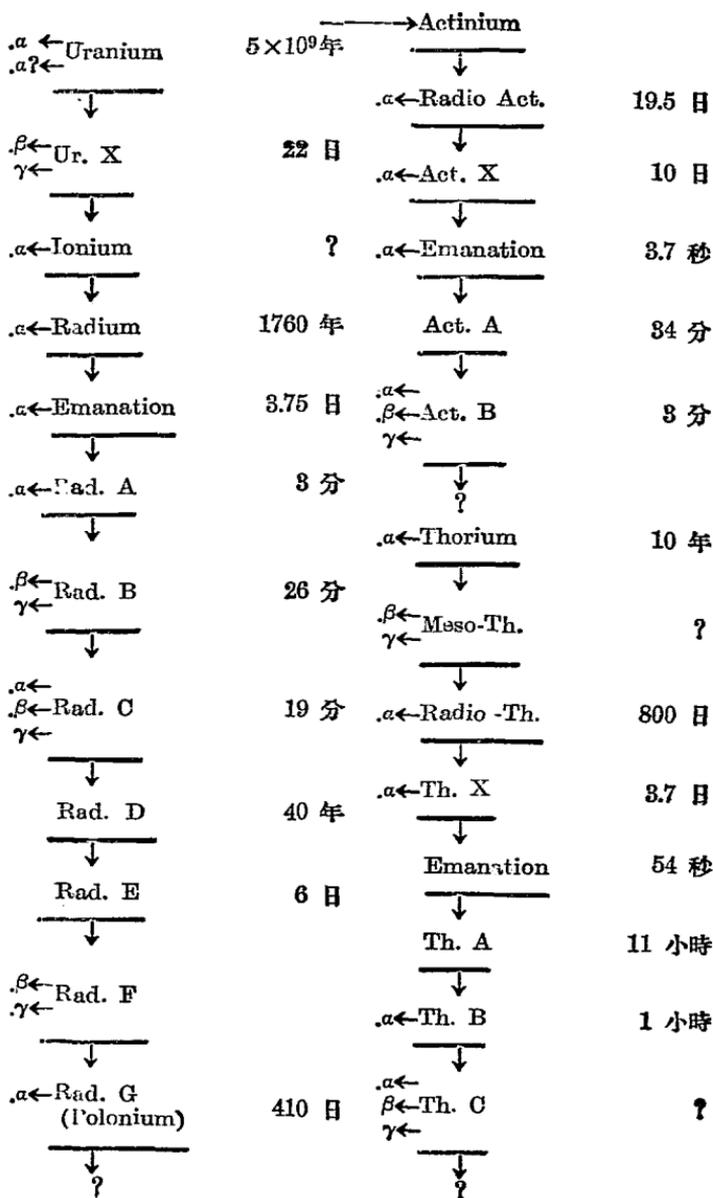
所以即令將來物理家地質家找出良法，把放射物質在地球中分配的情形測定，我們還是難希望據地球的熱歷史求出他的年齡。

## 七 據放射原質每年產生的氦氣求地球的年齡

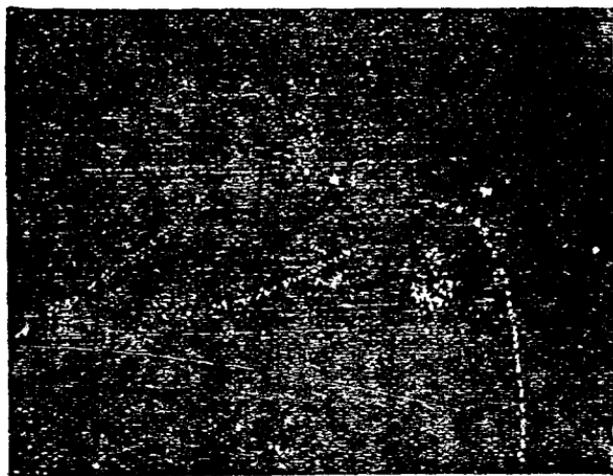
自居禮夫人 (Mme Curie) 發明放射原質以來，物理學上頓添了一個極有趣的題目，引起許多人研究的興味，如刺得福德 (Rutherford)、索狄 (Boddy) 諸大家，都有重要的貢獻。近年來漸漸演出電子的學說，我們纔知道原子內還別有天地，不用講物理家，就是地質家也因為了這種新知識，新武器，抖擻精神，起來打破舊日所遇的難關，地球年齡的問題就是這些難關之一。

物理家會用理論和實驗，證明發射原質如銻質，所發出的  $\alpha$  質點即氦 ( $\text{He}$ ) 的原子，經仔細的檢查，我們現在知道地上各種岩石及溫泉中，常含有氦氣，這些氦氣不用說都是由放射原質裏爆裂出來的。據刺得福德的研究，現在我們已知各種放射原質可分為三族，各族中的各原質循序推遷，變化不已。各原質分裂至原量之半所需的時間，名曰半生期，他們遞變的情形及其半生期的長短如下表。

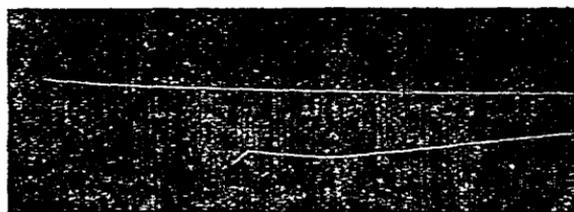
七 據放射原質每年產生的氮氣求地球的年齡



形情之射放質原射放 圖七第



$\beta$  點經過之路線 (據 C. T. R. Wilson)



$\alpha$  點經過之路線 (據 C. T. R. Wilson)

由放射物質求礦物的年齡，始於刺得福德，以後各家，不過把他的方法略加修改，把他計算的

根據略加改正。至若原則，完全一致。現在我們最好先把他的方法約略的敘述一次，再看他的方法於事實上有何等不妥當的地方。

刺氏所用鑛物爲褐釷鉍礦 [(Fergusonite)(Y, Fr, Ce, U)(Gd, Tb)O<sub>2</sub>] 據拉姆則及特刺味斯 (Travers) 的檢查，這種鑛物，每重一公分，含一·八一公分容積的氦氣，約百分之七的鈾 (U)。又據多數分析的結果，凡含鈾的鑛物大都含銑；又鈾與銑的比，常與  $1:3.4 \times 10^{-7}$  相當。所以此鑛物每一公分中的銑量應爲  $23.8 - 10^{-9}$  公分。據盧察夫、刺得福德和蓋革 (Geiger) 的研究，每一公分的銑，每一秒時射出  $3.4 \times 10^{19}$  個的  $\alpha$  質點，但是按放射的理論，放射原質在「平衡」之下，每一個銑的原子爆裂，應有 8 個  $\alpha$  質點射出（參看前表，那就是在平衡之下，每一秒時，每一公分的銑和他的全族應有  $8 \times 3.4 \times 10^{19} = 2.72 \times 10^{21}$  個  $\alpha$  質點射出。）

在標準壓力及溫度之下，一立方公分容積之氣體中應有  $2.72 \times 10^{29}$  個分子（用氣體運動的學說及其他方法都能證明。）假如有鑛石中含一公分重的銑，他每秒時所吐出的氦氣容積必爲  $2.72 \times 10^{11} \div (2.72 \times 10^{19}) = 10^{-8}$  立方公分，就是每年吐出 0.311 立方公分。但是在 1

公分重的褐鋁鉍礦中之含銻的量只有  $23.8 \times 10^{-6}$  公分重，所以這種礦物每一公分每年所吐出的氦氣，應為  $7.4 \times 10^{-7}$  立方公分。

$$\text{故此褐鋁鉍礦所有的年齡} = \frac{1.81}{7.4 \times 10^{-7}} = 2.4 \times 10^6 \text{ 年}$$

此褐鋁鉍礦究竟出於何地層，屬於何代，都不清晰，大約在玄古前已經生成。

計算的方法是如此。我們現在要看他有些什麼不妥當的地方：

頭一層，我們假定含鈾的礦物，當他生成的時候，就有若干分量的鈾質，這些鈾質永遠拘囚在那礦物中，時時分裂，他所分裂出來的各種物質，也是永久拘囚在一道；一直到今日沒有洩漏。這種情形，能否實現於自然界，實在是一個極大的疑問。據波爾烏德 (Bolwood) 的觀察，各種含鈾礦物中的鈾質與銻質的比，尋常相差尚不甚大；而鈾質與氦質的比，往往大不相同，足見鈾質分裂後所生的物質，並不是都積在原来的礦物裏邊。

據丹 (Danne) 氏的調查某處綠鉛礦 [ $\text{Pb}_3\text{Cl}(\text{PO}_3)_2$ ] 及偉晶岩 (pegmatite) 中有銻而無鈾，按此處的情形，銻必是隨泉水穿過偉晶岩脈，然後停在綠鉛礦裏，這種發射物質移動的情形，

不限於銑，就是鈾也不免的。我們看鈾礦物的附近，往往有鈾鉛礦、鈾灰礦、黑鈾礦等次金鑽石，就知道鈾質的移動，確是事實。

據查刻洛 (Jaquerd) 和拍洛 (Parrot) 的研究，氮氣在攝氏二百度時以上能通過石英，他透過的速率與溫度俱增。又據斯特刺特 (Sturt) 的研究，燐質的結核，含鈾雖較尋常的岩石爲多，而其保持氮的力量，各各不等，而且甚小。況且我們知道空氣中有若干分量的氮，這些氮究竟有多少是從地球成立的那一天就存在的，我們很難斷定。恐怕至少也有一部分是從地球成立後由岩石裏吐出來的。再進一步說，氮的發生，不限於銑族原質的爆裂，鈾族的原質也能射出氮氣，是我們都知道的。又據斯特刺特的調查，德國斯塔斯佛特地方的石鹽中，亦有若干氮，這些氮既不是由尋常所謂放射原質中出來的，所以斯特刺特以爲他們的祖先必是鉀。岩石中多少常含有鉀質，幸而他們的放射性不十分顯著，我們現在就是把他們所射出的氮忽略看過，於計算上或者不致發生重大的影響。

總之，放射物質在岩石中，常常移動，是一件的確事實。由一定的礦物中的鈾質所發出的氮，尋

常只有一部分積在那礦物中，也是事實。不過有幾種礦保持氮氣的力量較大，就我們所知道的，就是鐵鑛、鋯石(zircon)、榍鑛(sphene)。斯特刺特曾用這三種礦物，求出各地質時代到現今的年數如次：

時 代	名 稱	距 今	年 數
最 新			$1 \times 10^6$
更 新			$2.5 \times 10^6$
次 新			$6.3 \times 10^6$
少 新			$8.4 \times 10^6$
初 新			$30.8 \times 10^6$
石 炭 紀			$146 \times 10^6$
泥 盆 紀			$145 \times 10^6$

玄古	亞寒奧志 爾武陶留 長 紀紀紀紀
710 × 10 <sup>3</sup>	209 × 10 <sup>6</sup>

鈾質變化甚慢，不易逃逸，非在特別情況之下，也不致由礦物的外界加入，故赤鐵礦 (hematite)、菱鐵礦 (siderite)、銻石 (zircon) 等礦物中現存的銻質，與他們初生時所包含的鈾質，相差不甚多。斯氏的計算，最足令人生疑的地方，還是他所測定氦的分量。氦既是易於逃逸，他所定的數目只有失之過小，不會失之過多。所以上表中的年數，可說是各地質時代到今日最小的年數。

再進一層，即令關於某某礦物的年數我們能求出一個準數；那礦物的年數，未必就能代表他所在的地層的年齡。因為我們知道許多事實，足以證明多少的礦物，都是在地層既成若干年代後纔逐漸生長，所以他們所含的放射原質及其產生物，也許不是一時加入的。不過這種情形，尚不難鑑識，只要我們選擇標本的時候留心，這層難處未始不能免過。

物理家和地質家近來得了許多事實，彷彿足以表示鉛與鈾爲同族的放射原質，那就是鉛爲鈾最後的化身。依這種假定，坡爾烏德 (Bolton) 斯特刺特 (Sturt) 曾用鉛與鈾的比求出若干地質時代距今日的年數。用此法所求得的結果，較之用氦比所求得的數目稍大，如亞爾良紀至今日爲  $200 \times 10^6$  至  $1000 \times 10^6$  年，玄古世 至今日  $1400 \times 10^6$  至  $1600 \times 10^6$  年。方法與前同，不必再說。

總觀以前所述的各種方法，天文家和熱力學家的主張，是全無價值，不用再說，比較可靠的，就是以遞積岩的總厚，海洋的鹹度，及原質的放射性爲根據的三項。而這三項之中，又以第一與第三項根據較確而較精。依前者所得的結果，自海陸劃分以來應在  $300 \times 10^6$  年以上；據後者所得的結果，比前數大一倍有餘。現今的侵蝕率應大於古代的平均侵蝕率，前已論過，所以自海陸劃分以來的年數，比  $300 \times 10^6$  還大一倍以上，純粹就地質方面看來並不是意外的事。然則我們現在無妨暫定地球自玄古世 (Archean) 到今天的年數爲  $700 \times 10^6$  至  $1000 \times 10^6$  了。

編主五雲王

庫文有萬

種千一集一第

齡年的球地

著光四李

路山寶海上  
館書印務商 者刷印兼行發

埠各及海上  
館書印務商 所行發

版初月十年八十國民華中

究必印翻權作著有書此

---

The Complete Library

Edited by

Y. W. WONG

THE AGES OF THE EARTH

By

LI SZU KUANG

THE COMMERCIAL PRESS, LTD.

Shanghai, China

1929

All Rights Reserved

040466



2121.6