

月 球 產 生 的 問 題

李 善 邦

(中 央 地 質 調 查 所)

前年 Gutenberg 在那裏叫屈，有些人硬說“月球原是從太平洋飛出去”的話是他說的。其實他沒有說，那是 W. H. Pickering¹ 的臆說，大意謂：現在凹下去滿貯著海水的太平洋，原是盛着等量的岩層，這一部分岩石在地質時代以新西蘭為中心飛了出去，構成月球，且當她破空而出的時候，歐非和南北美等大陸地塊相向擠入，中間還扯裂成一個大西洋。這種說法對不對，要看它的理論根基穩不穩，與客觀事實符不符來決定。在做學問的途徑上，這種例子多得很，數十年間 Pickering 的臆說，並未發生多少作用，然而新近仍有些人支持此說，例如 C. W. Rutus 等，筆者認為這個問題至少有三種人感到興趣，地質學家，天文學家，和地球物理學家。本文擬就地球物理學方面的見解，貢獻於讀者。

這個問題的起源是 Pickering 根據 H. Poincaré 和達爾文喬治 (George H. Darwin) 的理論構成的臆說。十九世紀末葉，達氏² 研究潮汐問題，獲得很重要的結論。

自牛頓以後，海上潮汐現象都知道主要是由於月球的吸引（太陽有同樣作用，惟較小只當百分之 30，暫避不論）產生出來的。在對着月球的一面被吸起皺出來的水，曰潮，地心吸力的平衡隨着被破壞，於是相對的那一面，亦因向心吸力給抵削了一點，也同樣皺出來，曰汐。設地面都漫着一層水，地球的外形，就像個橢圓體，有兩個隆起的水頂，為此橢圓體的兩尖頭。地球是不斷的自轉，假如海水毫無內阻，則這兩個水頂，永遠會與月球在一條直線上，但事實上水是有相當阻力的（分子間的摩擦），所以在地球自轉時，粘着向前去一小段

後，方能得着平衡，結果月球的位置恆與兩水頂作成一不等邊三角形。按牛頓萬有引力定律，月球吸引較近的水頂的力當較吸引較遠的為強，結果可使地球自轉速度日益減縮。反過來，隆起兩水頂同樣會吸引月球，按同樣的道理，可使月球繞地迴轉速度逐漸增加，因而破壞了引力與離心力的平衡，月球就不得不甩遠一點，才能保持原有平衡，結果月球的軌道半徑，日見增長。綜合起來，達氏得了兩個重要結論：（1）地球自轉速度，因潮力的影響，逐漸減小，即日長慢慢增加，約每 120,000 年增長一秒，（2）月球與地球的距離，因潮力的影響，逐漸增大，約每百年增長 5 英呎。

達氏就根據他自己的結論追溯地月以往的關係，若逆着時間倒算過去，日子的長漸漸變短，月球的距離亦漸漸變小，換一句話說，一日與一個月（這裏的日指地球自轉一次，月指月球迴旋一次各所需的時間）都慢慢的縮短，惟在縮短的過程中，初期日比月變得快，每月的日數漸漸增加至 29 日（現在是 27 1/3 迴轉為一月）以後，月的縮短轉變為比日來得快，每月的日數也就隨之漸漸減少，最後至一個月只有一天，到這時候地球和月球好相中間有一根槓子聯着，以地心為軸飛快的轉，日和月一樣長，都只當我們現在的時間三至五小時，這樣的地月運動體系很特別，彼此轉動得非常之快，相距非常之近，幾乎可以面與面挨着。這在運動學原理上是不穩定的，假如從外邊稍微來了一點干擾，就可以改變其運動形式。此時雖然地球上還沒有海，但可假定彼此都還是熱液質，從現在月球上許多火山口的存在，可以相信其如此。由於相互的吸引，仍然會起潮汐現象，不過這個潮是熔岩做成的，所謂本體潮(Body tide)，潮的阻力照樣可以影響地球與月球的運動。再加上其他天體的存在，所謂外來干擾是不可避免的。今假定在此臨界關頭，外來干擾致使月球的迴轉快於地球的自轉，潮阻力的作用，會使月球愈繞愈近，終至墜入成為一體，反過來，外來干擾致使地球的自轉快於月球的迴轉，潮阻力的作用會相反的使月球愈繞愈遠，漸演變成為今日境地。這兩種動向原是一樣的可能，發生的機會亦均等，不過達氏採取了頭一催以創造他的共鳴生月說 (Reson-

nance Theory of Moon's Genesis) 就是了。

達氏根據他的推論，認為地與月在原始時代可能是合一的個體，隨後才從這總個體分出一個月球來。她的產生由於太陽的吸引。當時的液體地球，運動非常之快約每4小時轉一週，在這樣快速下，據達氏推證，向心力尙可免強維持之成團，不致粉碎紛飛。達氏又計算地球的自由週期*亦約為2小時。此時液體地球被太陽吸引所生的本體潮，可能發生很大的作用。地球已每4小時轉一週，則地上任何一處都經過一潮一汐，而起伏兩次，也就是長潮的週期為2小時，適與地球的自由週期相合，按物理學理必然起共鳴現象。因之潮的高度就會愈演愈大，終至近太陽的一面腳起很高，迨向心力不能控制時，脫項而成單獨個體。月球便是這樣生出來的。這就是有名的共鳴生月說。

今假定達氏的共鳴生月說是對的，事變發生時應當在太陽系構成不久，地球本身尙為液體狀態的時候。地球年齡以各種不同方法推算，約為2,000至3,000地質年#（以百萬年為單位），世界上已發見的最古岩石，如蘇聯 Carelia 地方的滌青鉍鐵，其年齡為1853³地質年，若月球果是從地球分裂出來的話，亦必在最老岩石結成以前，達氏固未曾反對這一點。那麼飛出去的月球，無疑的仍是液體熔岩，隨後冷凝才結成很厚的矽鋁岩壳，月球帶去的矽鋁岩液，已能淌成厚度均勻的完全球壳，則地球表面所餘的矽鋁岩液，溫度相同，且因體積大冷得慢，更能於月球去後，滯淌成完全球壳，然則月球帶去的物質，原在何處就沒有法子知道了。達氏原本提到這一點，不過 Pickering 有意只採取了達氏的“月球可能從地球本體像葫蘆斷頸子似的分裂而成”的話，以圖解釋地質方面現象，以創立他的臆說。但假定的事變時間太晚，若說在寒武紀之後，寒武紀距今僅500地質年，地壳早已很堅固，不能發生共鳴現象，月球在此時脫穎而出，實太不可能。Pickering 未嘗不知這個困難，他假定當時地球表層物質已凝結成半

* Natural period, 即一個與地球同大密度相同的液體圓球，自行轉動起來，有它的一定週期之稱。

達氏立說時尙無此數字，當時一般計算結果均比此數字小得多。

固體狀，所以月球掙脫後的遺跡，由於半固體狀的物質，粘性很大，流動很慢，還沒有補平這個疤，外壳已冷凝固定了。這個疤就是今之太平洋底。所奇怪的是從現在月球上的遺跡，很足以證明初生之月，應是液體，同時的地球就必須假定為半固體。姑且避開這個，月球脫項時也不一定會齊根截斷，在地球這面很可能尚有一段餘蒂，如果地球表面物質，補償行動沒有冷凝進行來得快，則這個餘蒂會變成凸起的而不是凹下去的疤，以其說是太平洋為月之產地，還不如找一處古老高原，更為有趣。

總括起來，達氏的理論，就其所假定之大前題下，他的推理是合於邏輯的，惟 Pickering 的臆說是不足為訓的。

若作更進一步的考驗，其鳴生月說亦大有問題。達氏理論如能成立，須至少能滿足下列條件：(1)當時地球須很接近太陽，相離不到兩個太陽半徑，(2)當時地月合體的運動量，須能使自轉速度達到足以破壞其本體，以致分裂，(3)當時地球與太陽的密度須差不多*。

在未討論上面所舉的困難以前，我們對地球和月球的本體及其運動體系須先有概括的認識。

地球的年齡約為 3,000,000,000 年，這個數字一般認為沒有多大誤差，他是從氣體太陽在意外遭遇中產生出來的。產生時曾經過激烈衝擊，致使遠離太陽本體，但仍為太陽引力控制，故除自轉之外，還繞着太陽迴轉。他的軌道半徑現在為 149,500,000 公里，質量 6×10^{24} 公斤，只當太陽 0.0003%。自脫離太陽拋入空間之後，很快的就冷卻成為液體，據 Jeffreys 計算這一段時間不過數千年，同時所有物質亦已分化，重的趨於中心，輕的浮於上層，再繼續冷凝，漸漸遂成今日的形態，半徑平均 6370 公里，密度平均 5.52。最近地震研究的結果，又知其內部組織可分為三層。

1. 心核：半徑約 3470 公里，溫度很高，約近 6000° ，為鐵鎳混合物，仍保持液體狀態，密度約 11。
2. 中層：厚約 2840 公里，自裏而外，金屬物質漸次減少，代

* 據 Jeffreys 計算太陽密度須超出地球密度 $1/100$

以矽養化合物，溫度在 2000° 以上，為一種在高壓下極堅實均勻具有完全固體特性的物質，密度平均在 6 與 7 之間。

3. 地殼：已冷卻凝結的一層硬殼，各地域的厚度不十分一致，統在 40 至 60 公里之間，其中又可分為上下兩層，下層為較為基性之矽鎂岩類 (Sima) 所構成，大概而言，自下而上約按輝榴岩，橄欖岩，玄武岩的次序，分別包裹著整個地球，厚約 20 至 30 公里，密度平均在 3.4 左右。上層是較為酸性之矽鋁岩 (Sial) 主要為花崗岩所構成，密度 2.4，沒有完全包裹了整個地球，散據各方，多構成大陸地塊，厚度不一致，在大陸區域，平均 13 至 18 公里，大西洋與印度洋區域很薄，不過數公里，北冰洋更薄，甚至於沒有，太平洋區域則完全不見。最表面的沉積岩層平均厚度僅 2 公里，乃是後來經風化剝蝕後轉移沉積的次生產物與本題無大關係。

以花崗岩為主的矽鋁岩層，獨未曾包裹了整個地面，這是達氏共鳴生月說所不能解決的一個死結，也是地學界一直爭論尚未能達到意見統一的大問題。自重力量工作推廣以來，已證明構成大陸等的花崗岩塊，浮着於其下之玄武岩層上，地勢愈高的地區沒入部分也愈深，好似冰山浮於海水中，惟因各地岩石之物理性不一樣，軟化程度亦不一致，故未達到完全平衡狀態，但其一致趨向均衡 (Isostatic) 則已毫無疑問。如某一處岩層受了擠壓，以致上部隆起上昇，下面亦必更向下伸入以保持均衡，這個理論幫助解釋地質時代各期造山造陸運動的許多現象，不過這些運動上的進展，和經過若干時間才能恢復均衡等問題，則受岩石強度 (Rock Strength) 與韌性 (Subcrustal Viscosity) 的節制，前者之值平均在 10^9 至 10^{10} dyne/cm² 之間，後者約為 10^{22} Poise*。

月球雖不能像地球那樣直接認識，但她離我們很近，不用很講究的望遠鏡也可以觀測得相當清楚。一般的觀念，月為地球的衛星是沒有問題的，而實不倫不類。行星中有衛星的佔多數，衛星總數有 30 個之多，都比其所屬的母星小得不成比例，最大如土星的 Titan，他

* 1 Poise: Gram per sec. per cm.

們的質量比，亦僅 1:4700，惟有月球大得不凡，她與地球相比，竟達 1:81。運動量也是這樣，一般衛星的運動量，只等於其所屬母星的小小分數，惟有月球的運動量獨等於地球的 5 倍，這樣看來，月球與地球的關係，殊不尋常，很難於其他行星的衛星一概而論。J. H. Jean 曾經對此問題建立一套理論，亦未獲得可以令人滿意的答案。

因為月球比較小，冷下來也就很快，從熔液度至固結的時間，自然相當的短，現時月球表面有無數的大小不一的圓錐形口存在，即是當年急促凝結時，由內部排擠出來的水和氣紛紛如沸泡噴出後所遺下的痕跡。初生之月可能離地球很近，運動甚疾，彼此間相互吸引而起本體潮，潮的阻力使她運動漸慢距離漸遠，經過沒有好長的時間就凝結了。現在她與地球相距已是 38,400 公里，等於地球半徑 60 倍，每月只自轉一次，恆以一面對着地球，潮亦死結在一定位置不動了，密度平均 3.33，外壳是矽鈣岩構成，據 Mohorovicic 和 Escher⁴ 的估計，厚度約有 400 公里，內有半徑 1340 公里的心核，為矽鎂岩類所構成，或有小小的鐵鑲心亦未可定⁵，表面無水也無空氣，除不時有隕星投入外，沒有什麼遊動物體存在。

地月的結構如此，現在進一步研究襁褓時代的地球能不能發生如達氏所推算的激烈高潮，以致分裂而產生一個月球出來。

據 Jeffreys 的推算，如達氏理論為可能，則當時地月合體趨近於太陽的距離，由太陽中心起算，只有太陽半徑的 1.4 倍（現在是 215 倍）。這已超過 Roché 的極限⁶。Roché 的極限，經過 Maxwell 闡明，從數理論證達到必然的結論，這結論是任何衛星趨近於其母星之距離至 2.45 倍於後者之半徑時，該衛星就要粉碎成環，永遠不會再結成一團，現在土星的光環就是實例。當時行星亦可視作太陽的衛星，若地球早年曾經有過離太陽那麼近的距離，則早已粉碎成環，水星金星的命運更不用說了。較為合理的說法應是地球的軌道半徑在太陽系構成到現在沒有多少變動，潮力的作用，誠然可使地球自轉的速度漸漸減低，但對於公轉速度的影響則甚微，不過將軌道的形狀慢慢變成橢圓而已。其原因是地球的質量僅為太陽的 332,000 分之一，反動作用

(Reactive effect) 太小了。自有太陽系以來，我們的一年之長未不會增加多幾秒。

其次是運動量的問題。赫達氏推論，當地球與月球很接近的時候，地球自轉約每四小時一週，已達到地月運動體系不穩平衡的臨界狀態，剛剛在此時之前一頃，地月尚是合一個體，設原有的運動量不變，這個地月合體的自轉速度可約五小時一週，亦即地球面上漲潮的週期僅是二小時有餘，與液體地球的自由週期很為接近，因而起共鳴作用，潮愈長愈高沒有止境終至分裂。但是達氏理論上所需要的地球自轉速度，事實上是達不到的。從純數學的說法，一個均勻的液體質團，當其自轉速度比較慢的時候，其形狀像扁圓體，所謂 Maclaurin spheroid（兩條軸相等一條軸較短），速度漸快扁度亦漸增加，待達到不穩平衡後便變為橢圓體，所謂 Jacobi ellipsoid（三條軸各不相等）若速度再增加扁度亦隨之增加，再度進入不穩平衡狀態，此時近其一端忽然會出現一條凹溝，很快的深裂入去而斷分離。然此經 Moulton⁷ 先從理論再以實例反復推算，證實地月運動體系的運動量不夠大，尚且不能使扁圓體達到不穩平衡的速度，距橢圓體更遠了，至此達氏共鳴學說也就全盤下地。後來 Jeffreys⁸ 又以地球成形之後不久，輕重物質就分化定了，一直沒有什麼大變化，他認為在共鳴作用發生時代，地球已不是均勻體，所以在進行各種推算上都應該將不均勻的因素加了進去，如是構成的三度空間問題，算學太難，不能求出答案，結果用兩度的圓筒作為比喻，引伸於球體，才得着結論，謂如此速度不用很大，可以達到達氏所期的結果，可以避免 Moulton 所提出的困難，但自地震學研究所得，已證明地球核心至今仍為高滲液體與其外層有明確的分界，Jeffreys 加入不均勻的因素去演算，一方面固可以有助於共鳴學說，另一方面適足以毀壞它。蓋在液體狀態時期，潮的轉動，可使上述的界限面上發生摩擦，這摩擦所需的消耗，定然限制長潮的高度。從計算結果，潮的高漲最多不過至等於地球半徑二十分之一時，就不會再長，反之共鳴作用就不能有結果了。

再次是密度的問題。現在太陽的平均密度為 1.41，地球 5.52，

月球 333. 太陽雖仍然是氣體，但物質輕重分化很厲害，從表面進入至半徑十分之七的地方，密度已增至 10，過此突然增加甚速，至中心達 110，地球與月球也是按同樣方式分化，這種情形，從各方面觀測結果，都認為在太陽系構成不久就造成如此，以後沒有什麼大變動，以地球論，從地學方面觀察，地球的大小自成形以來，找不著有多大變動的迹象，雖然在冷凝時不免要收縮一點，但為量甚小，半徑的縮短不過數公里，微不足道。如此地球平均密度在達氏的共鳴作用發生時代，無論如何，不會近於太陽的平均密度，是很顯然的了。還有一點，即使月球就按達氏共鳴方式產生，初生之月與地球的距離只能有 14,900 公里，若大於此數，不穩平衡的臨界狀態，就不可能成立。她首次迴繞地球而轉的軌道，也不會是完全圓的，蓋按天文學上定理，圓的軌道始終是圓的，就不會演成今日橢度很大的軌道（月球軌道橢度為 1/60）。如果月球的原始軌道必須假定稍有橢度，那麼地月運動體系的自轉運動，儘可以很勻稱，公轉運動就不能不遵 Kepler 的等面積定律，以是部分的相對運動自然就會起來，本體潮也就誕生了。潮的摩擦是消耗能力的，能的損失是與吸起潮的力的平方和潮在地面移動的速度的平方成正比。Moulton⁷ 對此問題，亦有過詳密計算，結果是潮的影響，只有把月球再度拖回去，不會驅走，而愈繞愈遠演成今日的境地。由此可以聯想到達氏的基本論據，逆歷史追溯地月的關係，也不盡合理。依據古時的日月蝕與現在的比較，月球平均運動的長期變速（Secular acceleration）約每百年 4"。據此推算，若要回到日長只當現在時間 20 小時，月長只有 24 天的時候，須在 220,000,000,000 年前，那時候還沒有地球呢！縱使加進各種改正，如月球軌道橢度的影響等，也無法可以此數字變為有利於達氏理論的結果。

依着上面所述，我們可以總括的說，地球與太陽的距離從前與現在差不了好多，從來沒有過很近的時候；地月運動體系沒有足夠的運動量可使假定中的地月合體的自轉速度快至有分裂的危險；地球自具形以來，不相有過與太陽差不多的平均密度，最後縱使月球是由共鳴

方式產生，結果亦被吸回去。這幾點辯證明白後，達氏理論就失了基礎，大前提已然不對，演譯出來的結果當然也不會對，所以達氏的共鳴學說，雖曾震撼一時，自今視之，乃根本上不能成立的。Pickering 的臆說以達氏理論為骨幹者，自然也就隨之下場，月球究如何出現，就須另找來源了。

月球的產生，大概是與地球同時出現的，當太陽突然遭遇遊星掠過時（部分碰着，Jeffreys 的新說），衝出來的物質所團成的個體，絕不會只有現在太陽系行星羣中所包括的數目。月球可能是其中之一小個體，因與地球隔離不遠，不久即為他擒作衛星，由於潮力的發育，漸演變成今日的狀態，月球已非從幼年地球分裂出來的產物，那麼太平洋此一廣大凹地又沒有矽鋁岩存在的問題，自然另有解答了。

參 考 文 獻

- 1 W. H. Pickering, The Place of Origin of the Moon. Scot. Geog. Mag., XXIII, 1907.
- 2 G. H. Darwin, The Tide (Chap. XVI-XVII). Cambridge 1898.
- 3 The Age of the Earth (Physics of the Earth IV), Nat. Acad. Sci., Washington. 1931
- 4 B. C. Escher, Moon and Earth. Proc. Kon. Acad. van Wetensch., Amsterdam, vol. 42, 1939
- 5 R. Staub, Der Bewegungsmechanismus der Erde. Berlin, 1928.
- 6 J. C. Maxwell, On the Stability of Saturn's Rings. Sci. Papers, vol. I.
- 7 T. C. Chamberlin, F. R. Moulton, a. o., The Tidal and other Problems. Carnegie Institution, Washington, Pub. No. 107, 1909
- 8 H. Jeffreys, The Earth (The Resonance Theory), 2nd edition. Cambridge, 1929