

自序

2017年8月，我開始在新浪微博（ID是「王爽_宇宙奧德賽」）上寫天文學科普文章。沒有料到的是，這些文章居然大受歡迎；到2018年8月底，#宇宙奧德賽#的話題閱讀量就已經超過了2.5億。

但也有不少讀者跑來問我，為甚麼要取「宇宙奧德賽」這麼奇怪的名字。讓我來解釋一下其中的緣由。

公元前8世紀，古希臘大詩人荷馬寫下了著名的《荷馬史詩》。這部傳奇巨著包括兩部史詩，其中一部叫《奧德賽》，講述的是古希臘英雄奧德修斯在海上漂泊10年，歷盡千辛萬苦最終成功返鄉的故事。2000多年來，《奧德賽》一直被視為西方文學的奠基之作。

後來出現了無數向《奧德賽》致敬的作品。比如說，愛爾蘭著名作家詹姆斯·喬伊斯有一部代表作，叫《尤利西斯》，被評為20世紀百大英文小說之首。尤利西斯其實就是奧德修斯的拉丁文譯名。此外，喬伊斯也透露過《尤利西斯》的各章標題，都與《奧德賽》中的人物或事件一一對應。

再舉個例子。英國著名科幻小說家亞瑟·克拉克有一部代表作，叫《2001：太空漫遊》，被視為整個科幻史上最偉大的作品之一。它的英文名是 *2001: A Space Odyssey*，直譯過來就是「2001：太空奧德賽」。

為甚麼「奧德賽」這個名字，會有如此之大的魔力？在我看來，「奧德賽」其實象徵着一場探索未知世界的旅行。一場真正意義上的奧德賽之旅，能讓我們擺脫千篇一律、平淡無奇的日常生活，去遊歷一個五彩斑斕、讓人目不暇接的美麗新世界。

我的最終目的，是陪你經歷一場前所未有、遨遊整個宇宙的奇妙旅行。我們將從地球出發，依次遊歷太陽系（即行星世界）、銀河系（即恆星世界）和河外星

系(即星系世界)，一直飛到宇宙的盡頭。然後，我們將從宇宙盡頭、同時也是宇宙創生之處返航，在時間長河中順流而下，依次探尋宇宙起源、生命誕生和宇宙命運的神奇奧秘。在這場旅行的終點，我們就能直面人類最終極的三大問題：我是誰？我從哪裡來？我將往何處去？

本書是這場宇宙奧德賽之旅的第一段行程：太陽系之旅。我們將遊歷太陽系的12個景點，依次是地球、月球、金星、水星、太陽、火星、小行星世界、木星、土星、天王星、海王星和太陽系邊緣。要特別強調的是，我想讓你了解的並不是與這些天體相關的零碎知識，而是它們在人類文明史上的坐標。

以第5個景點太陽為例。關於太陽，我精選了4個主題：①太陽光譜，人類認識太陽的第一種途徑。②太陽能量來源，困擾人類數百年的超級難題。③太陽中微子，兩度獲得諾貝爾物理學獎的前沿課題。④太陽風暴，對地球最具威脅的太陽現象。相信這些精挑細選的主題，能讓你對太陽在人類文明史上的坐標有一個比較全面的了解。

換句話說，本書為你呈現的並不是一些關於太陽系的碎片化知識，而是一個關於太陽系的完整知識體系。藉由從上百個初選題目中精挑細選出來的40個主題，我希望能讓讀者了解：這些太陽系主要天體曾在人類文明史上扮演過甚麼重要角色？與哪些特別重大的科學事件有關？如何改變人類對整個宇宙的看法？又與我們的現實生活有着怎樣的聯繫？

除了着眼全局的知識體系式的呈現方式，本書還有以下幾個主要特點：①問題引導，每一節都在回答一個最關鍵的問題。②故事驅動，書中穿插了海量的關於科學家的逸聞趣事。③內容可視化，全書幾乎沒有數學公式，所有的知識點都會被轉化成可視化的物理圖像，然後用貼近生活的類比來加以解釋。④總結常態化，為了方便讀者理解，每一節的結尾都會對本節中最重要的內容進行總結。

此外，為了標記一些天文數字，本書採用科學計數法，也就是把一個數字表示成 $a \times 10^n$ 的形式，其中 a 處於1~10之間，而 n 是一個整數。

為了寫這本書，我不知看了多少學術論文、人物傳記、科普書和科普紀錄片。相信你很容易感受到書中傾注了多少心血和誠意。

準備好了嗎？那我們就出發吧。

目錄



01 地球 / 1

- 1.1 人類如何確定地球的形狀和大小？ / 2
- 1.2 人類如何測量地球的質量？ / 10
- 1.3 人類如何測出地球的年齡？ / 17
- 1.4 為甚麼地球能成為生命的綠洲？ / 23



02 月球 / 29

- 2.1 為甚麼月球總是一面朝向地球？ / 30
- 2.2 阿波羅計劃留下了怎樣的傳奇故事？ / 34
- 2.3 月球是怎麼起源的？ / 41



03 金星 / 45

- 3.1 金星盈虧如何敲響地心說的喪鐘？ / 46
- 3.2 金星凌日如何測出地球與太陽間的距離？ / 53
- 3.3 為甚麼金星會變成一個地獄般的地方？ / 59



04 水星 / 65

- 4.1 水星逆行為何會推動地心說的變革？ / 66
- 4.2 水星近日點進動如何揭開廣義相對論崛起的序幕？ / 72
- 4.3 水星上有哪些讓人大跌眼鏡的自然現象？ / 79



05 太陽 / 83

- 5.1 太陽光譜如何揭示太陽的元素構成？ / 84
- 5.2 太陽的能量是怎麼產生的？ / 92
- 5.3 太陽中微子探測為甚麼會兩次得到諾貝爾獎？ / 98
- 5.4 萬聖節太陽風暴為甚麼會讓地球變得一片狼藉？ / 103



06 火星 / 109

- 6.1 火星為何已不再是日心說的夢魘？ / 110
- 6.2 火星上到底有沒有水？ / 117
- 6.3 人類有甚麼辦法來改善火星的生存環境？ / 122



07 小行星世界 / 125

- 7.1 穀神星如何變成太陽系第一個失去行星地位的天體？ / 126
- 7.2 為甚麼太陽系第一高峰會坐落在不起眼的灶神星上？ / 131
- 7.3 為甚麼說奧陌陌是來自太陽系外的星際來客？ / 136



08 木星 / 141

- 8.1 為甚麼說大紅斑是太陽系中最大的風暴？ / 142
- 8.2 為甚麼說木星是地球的守護神？ / 149
- 8.3 為甚麼木衛一長得特別像雞蛋蔥花餅？ / 155
- 8.4 太陽系最大的海洋是怎麼被發現的？ / 160



09 土星 / 167

- 9.1 人類如何知曉土星環的真面目？ / 168
- 9.2 誰是太陽系中最有可能存在地外生命的天體？ / 175
- 9.3 泰坦的橙色大氣層下到底隱藏着怎樣的秘密？ / 180



10 天王星 / 187

- 10.1 天王星是怎麼被發現的？ / 188
- 10.2 天王星為何會有詭異的磁場？ / 192
- 10.3 在太陽系最高的懸崖上蹦極是一種甚麼體驗？ / 198



11 海王星 / 203

- 11.1 海王星是怎麼被發現的？ / 204
- 11.2 為甚麼說大黑斑是太陽系中最強的風暴？ / 209
- 11.3 為甚麼海衛一不是海王星的親生骨肉？ / 213



12 太陽系邊緣 / 219

- 12.1 冥王星是怎麼被發現的？ / 220
- 12.2 冥王星是怎麼被降級的？ / 227
- 12.3 太陽系中真的只有八顆行星嗎？ / 233
- 12.4 從遙遠太空回望地球是一種甚麼體驗？ / 238

圖片來源 / 243

致 謝 / 250

01

地 球





1.1 人類如何確定地球的形狀和大小？

這場漫遊太陽系的旅程，始於一張盡人皆知的圖片。這是一張相當有名的太空攝影照片，名叫「藍色彈珠」，是由阿波羅 17 號的宇航員於 1972 年 12 月 7 日在太空中拍攝的。顯然，圖中的那個藍白相間的大圓球，就是我們的家園——地球（圖 1.1）。



圖 1.1 藍色彈珠

質量： 5.972×10^{24} 千克
體積： 1.083×10^{21} 立方米
與太陽的平均距離： 1.496×10^8 千米

在太空中，很容易看出我們的家園是球形的。不過在壓根去不了太空的古代，人們最早是如何得知大地是球形的？

很多中小學教科書中都是這麼說的：1519年9月20日，航海家麥哲倫率領着一支船隊，從西班牙的塞維利亞港揚帆起航；他們一直向西航行，花了近3年的時間，又返回了塞維利亞港，從而首次證明大地其實是球形的。

但我要告訴你，歷史並非如此。早在麥哲倫環遊地球的1800多年前，古希臘人就已經知道大地是一個大圓球了。世界上第一個科學論證出大地必然呈球形的人，是古希臘大哲學家亞里士多德（圖1.2）。

亞里士多德是歷史上最博學的人，或許沒有之一。

公元前384年，亞里士多德出生在古希臘北部的一個叫馬其頓的小國。他爸爸是馬其頓國王的宮廷御醫，但在他很小的時候就去世了。17歲那年，亞里士多德進入了雅典的柏拉圖學院。在那裡，他得到了古希臘著名哲學家柏拉圖的賞識，並被後者稱為「學院之靈」。

不過亞里士多德是一個很有主見的人，對柏拉圖的學術觀點並未全盤接受。有一次學院集會，亞里士多德甚至當着眾人的面毫不客氣地批駁了柏拉圖的觀點。有些人跳出來指責他不尊敬老師。沒想到，亞里士多德直接回應了一句千古名言：「吾愛吾師，更愛真理。」

柏拉圖去世後，亞里士多德離開他生活了20年的雅典，在馬其頓找了一份教書的工作。他有個學生是一個矮個子的13歲男孩。過了沒幾年，全世界都將在這個男孩的腳下顫抖，因為他就是威名赫赫的亞歷山大大帝。

此後的數年時間，亞里士多德一直陪伴在亞歷山大的身邊。除了向這個男孩傳授科學文化知識，亞里士多德還致力於培養他征服世界的野心。事實上，他甚至教導亞力山大要成為「希臘人的領袖和野蠻人的暴君，把前者視為親朋好友，而把後者視為飛禽走獸」。

8年後，亞歷山大繼承了馬其頓的王位，並且很快就征服了古希臘的所有城邦。不久之後，亞里士多德作為國王的特使重返雅典，並在那裡建立了自己的學院。

在雅典，亞里士多德很快就確立了在學術界泰斗的地位。基於自己的講課筆記，他撰寫了大量的學術著作；這些著作覆蓋了當時人類所能涉及的一切領域，這也讓亞里士多德成為世界上最博學的人。在其中一部名叫《論天》的著作中，亞里士多德

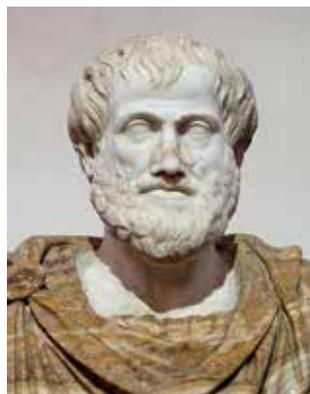


圖 1.2 亞里士多德



第一次科學論證了為甚麼大地是一個圓球。

他是怎麼發現這件事的呢？其實很簡單。眾所周知，在有太陽的日子裡，我們總能在地面看到自己的影子。這是由於我們的身體擋住了太陽光，讓它無法照射到我們身後地面的緣故。更重要的是，我們影子的形狀和我們身體的形狀差不多。換句話說，只要能知道一個物體影子的形狀，就能大致推斷出這個物體本身的形狀。亞里士多德就想了，既然我們看不到整個大地的形狀，那我們能不能看到大地影子的形狀呢？答案是可以。只要發生了月全食，我們就能看到大地的影子。

圖 1.3 就展示了其中的原理。如果地球運行到太陽和月球之間，就能擋住太陽光直接射向月球的路線。這樣一來，地球的影子就會投射到月球之上。

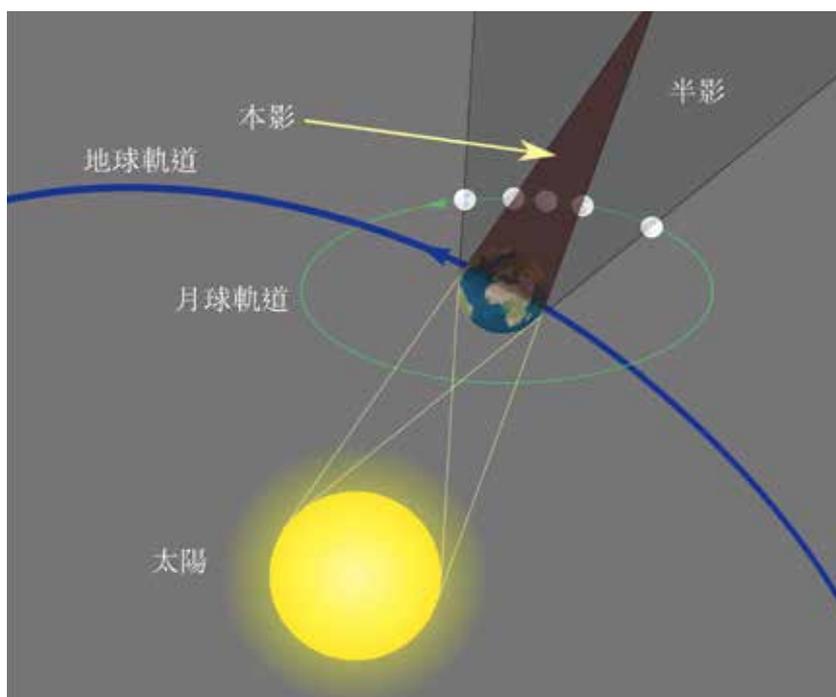


圖 1.3 月食原理圖

2018 年 1 月 31 日的晚上，就發生了一場中國絕大部分地區都能看到的月全食。圖 1.4 是一位網友用多台攝像機的素材拼合而成的。圖中紅色的圓球是月全食，而白色的圓球是月偏食。在這張圖片的正中間可以看到一個黑色的圓形區域，那就是地球的影子。很明顯，它是圓形的。

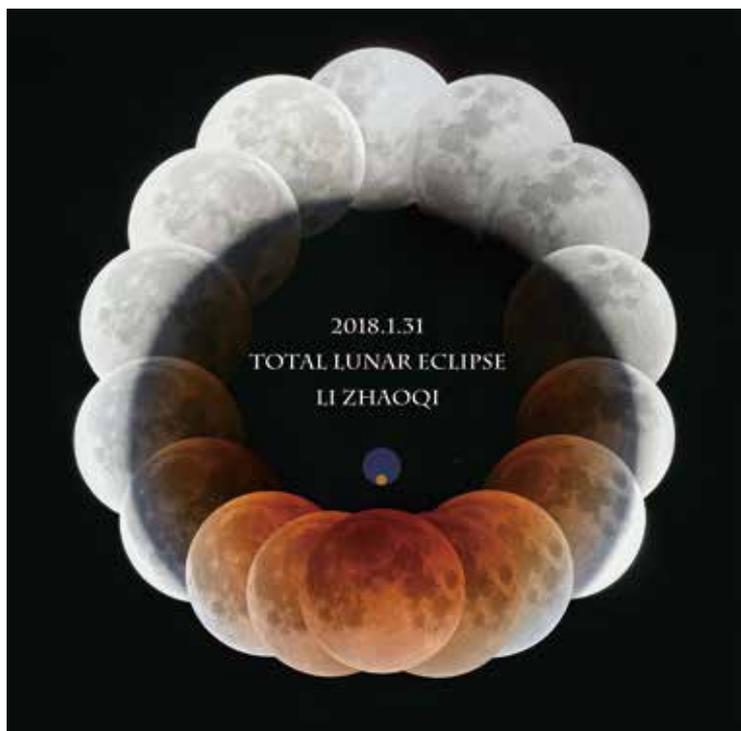


圖 1.4 2018 年 1 月 31 日觀測的月全食

在亞里士多德的時代，當然拍不出這麼清晰的照片。但觀察了數次月全食之後，亞里士多德還是發現了一件很有意思的事情：在發生月全食的時候，遮住月球的黑斑，其邊緣總是呈圓弧形。據此，他推斷出大地的影子應該是圓的；換言之，地球本身應該是球形的。

在接着遊覽地球之前，不妨說幾句題外話。看了月全食的圖片後，可能你會產生這樣的疑問：「在月全食期間，太陽光已經被地球擋住了，那就應該完全看不到月球。但實際上，我們會看到一個紅色的月球。這是怎麼回事呢？」

為了回答此問題，讓我們先從正常情況下看到的月球說起。眾所周知，月球本身是不發光的，只能反射太陽光。太陽光的頻率覆蓋了可見光的所有頻率區間。換句話說，無論是紅橙黃綠青藍紫，太陽光裡都應有盡有。平時，這些不同頻率的可見光，會經過月球的反射後射入我們的眼裡；因為所有頻率的可見光混合之後會變成白光，所以我們就會覺得月球發出的是白光。

那為甚麼在月全食期間，月球會變成紅色的呢？奧秘在於地球的大氣層。在日



常生活中，我們經常能看到光的折射現象。它說的是，光從一種媒介進入另一種媒介以後，其運動方向會發生改變。比如說，光要是從空氣中進入水中，其運動方向就會改變（圖 1.5）。同樣的道理，太陽光從真空中進入地球的大氣層以後，也會發生折射。這樣一來，原本照不到月球的太陽光，就會向地球陰影區域內發生偏折；等它照到月球上以後，又會反射到我們的眼睛裡。這就解釋了為甚麼在月全食的時候還能看到月球。

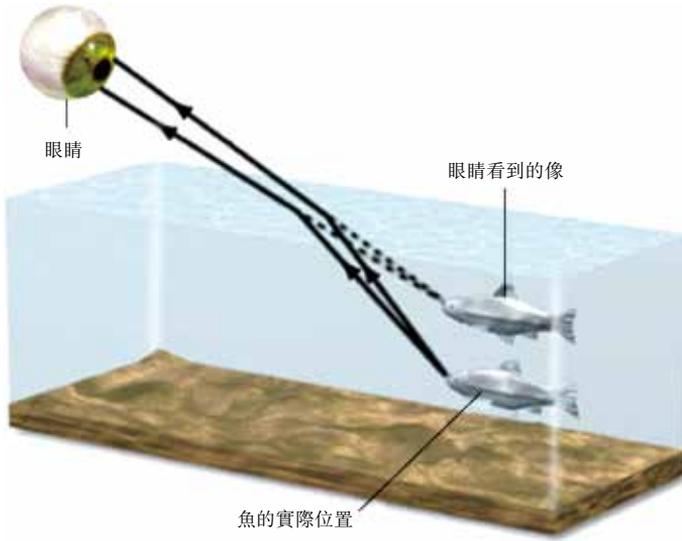


圖 1.5 光的折射

除了能讓太陽光發生折射，地球的大氣層也能讓太陽光發生散射。說得簡單一點，地球的大氣層會吸收部分太陽光，然後再把它們射向四面八方。很明顯，被散射掉的太陽光就無法再照到月球上了。至於入射光是否會被散射，與它的波長密切相關：波長較短的藍光，很容易就會被散射掉（這就是為甚麼我們看到的天空是藍色的）；而波長較長的紅光，則幾乎不會受到影響。所以，當太陽光在地球大氣層中穿行的時候，波長較短的藍光會被散射掉，只留下波長較長的紅光。這些紅光會向地球陰影區域發生偏折，被月球反射後又射入我們的眼裡。這樣一來，在月全食期間，我們自然就會看到紅色的月球了。

說完了地球的形狀，下面我們再來聊聊人類如何測出地球的大小。事實上，世界上第一個準確測出地球大小的人也是一個古希臘人，他就是著名哲學家埃拉托斯

特尼(圖 1.6)。

與亞里士多德一樣，埃拉托斯特尼也是一個全才，在包括數學、物理、天文、詩歌、戲劇在內的諸多領域都作出了舉足輕重的貢獻。更重要的是，他最早提出了地理學這個名詞，與大家熟知的經度、緯度的概念，因而被後世稱為「地理學之父」。

這樣的頂級大牛，人生之路肯定順風順水吧？錯了。在雅典求學的時候，埃拉托斯特尼一直被別人戲稱為「千年老二」。不過這個綽號一點也沒有冤枉他。因為那個始終勝他一籌的人，就是被後世稱為「力學之父」的阿基米德。



圖 1.6 埃拉托斯特尼

眼看自己超不過阿基米德，埃拉托斯特尼選擇遠走他鄉，去埃及做了亞歷山大圖書館的館長。在那裡，他終於找到了自己的用武之地。

埃拉托斯特尼上任之初，世界上藏書最多的圖書館還在古希臘。當然，在那個尚未發明印刷術的年代，所有的書都是手稿。在埃及法老的支持下，埃拉托斯特尼向古希臘的那些大圖書館付了很多錢，把它的藏書都借到埃及，好讓自己的館員抄寫副本。這些副本臨摹得特別好，完全達到以假亂真的程度。所以還書的時候，埃拉托斯特尼就特別奸詐地只還了那些書的副本，而把真品都留在了自己的圖書館裡。靠着這樣的手段，亞歷山大圖書館很快成了當時全世界最大的圖書館。

在管理圖書館之餘，埃拉托斯特尼也會利用圖書館的資源進行學術研究。他一生中最有名的研究工作，就是測出了地球的周長。

公元前 2 世紀的埃及南部，有一個叫賽伊尼的城市；它今天叫阿斯旺，是著名的阿斯旺大壩的所在地。在賽伊尼，有一口很有名的深井；在夏至日的正午時分，太陽光恰好可以直射井底。這意味着，此時此刻太陽正好處於賽伊尼的正上方；換言之，太陽與地球球心的連線恰好與這口井的井口垂直（用今天的眼光來看，之所以會有這樣的現象，是因為賽伊尼位於北回歸線的緣故）。這個現象很有名，每年夏至日都能吸引不少的遊客。而埃拉托斯特尼發現，還可以用它來測量地球的周長。

聽起來似乎很玄幻，是吧？其實只要用一點最簡單的幾何學知識，就可以把它說清楚。



圖 1.7 就是埃拉托斯特尼測量地球周長的原理圖。此圖展示了夏至日的正午時分，太陽光照射埃及的情況。

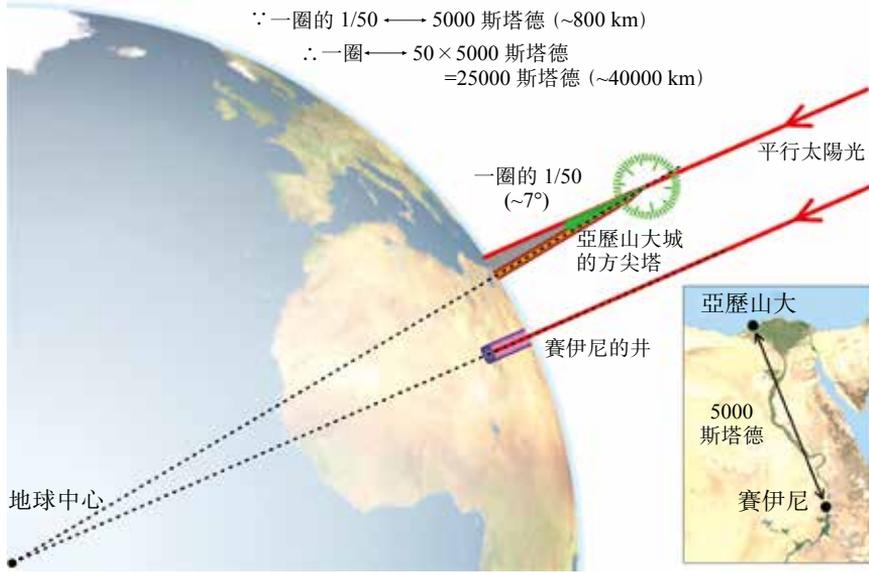


圖 1.7 測量地球周長原理圖

圖中的紫色圓柱就是賽伊尼的那口深井。前面說過，在夏至日的正午時分，紅色平行線所代表的太陽光可以直射到這口深井的井底。這意味着，這束直射井底的太陽光可以穿過地球的球心。與此同時，埃拉托斯特尼在亞歷山大城測量一個很高的方尖塔（即橙色長條）的陰影長度，並以此算出這個方尖塔與太陽光之間的夾角（即綠色夾角）約為 7.2 度。運用簡單的初中幾何知識，可以知道此夾角恰好等於賽伊尼與亞歷山大市之間的那段圓弧相對於地球球心的角度。因為環繞地球一圈的圓弧的角度是 360 度，所以這兩座城市之間的距離約為地球總周長的 1/50。

然後，埃拉托斯特尼派出了一個埃及商隊，用尺子一點點地量出賽伊尼和亞歷山大城之間的距離，結果大概是 5000 斯塔德。這樣一來，埃拉托斯特尼就測出了地球的周長，約為 25 萬斯塔德。

古埃及人的 1 斯塔德，相當於現代人的 157 米。所以埃拉托斯特尼的測量結果，換算成今天的長度單位，就是 39250 千米。不妨拿它和今天的結果做一下對比。根據地球衛星的測量結果，地球的周長是 40076 千米。換言之，2200 多年前埃拉

托斯特尼用尺子測出的地球周長，與今天科學家用衛星測出的結果，只有區區 2% 的誤差。

我們來做個總結。早在 2300 多年前，亞里士多德就通過對月全食的觀察，發現了地球的影子是圓形的，進而推測出地球本身是球形的。而在 2200 多年前，埃拉托斯特尼則利用尺子和一點基本的幾何學知識，測出了地球的周長是 39250 千米，這與今天用地球衛星測出的結果只有 2% 的誤差。顯然，即使在甚麼觀測條件都沒有的古代，人類依然可以靠智慧創造出令人難以置信的奇跡。

前面我已經介紹了人類如何確定地球的形狀和大小。下一節要講一個在科學史上更有影響力的問題，即人類如何測出地球的質量。



1.2 人類如何測量地球的質量？

地球質量的測量，在科學史上具有舉足輕重的地位。為了講清楚此事的來龍去脈，讓我先從一次著名的打賭事件說起。

1683 年的一天，三位英國皇家學會的院士在倫敦聚會，然後約在一起吃晚飯。這三人分別是愛德蒙·哈雷、羅伯特·虎克和克里斯多佛·雷恩。

前兩人的名字可能會讓你覺得頗為耳熟。愛德蒙·哈雷就是哈雷彗星的那個哈雷，而羅伯特·虎克則是虎克定律的那個虎克。這兩人都是科學史上的巨人，其科學成就遠遠不止於此。在後面的旅程中，我會詳細地介紹他們的科學貢獻。

而名氣較小的克里斯多佛·雷恩，早年是牛津大學的天文學教授。但在 1666 年，倫敦發生了一場大火，把整個倫敦城區都付之一炬。在英國國王的任命下，雷恩主持了災後重建的工作；從那以後，他就轉行當了一名建築師。英國有很多有名的建築，例如聖保羅大教堂、格林尼治天文台和劍橋圖書館，都是雷恩的作品。雖然雷恩後來已經不怎麼做天文學方面的研究了，作為英國皇家學會的元老，他還是於 1680 年當選為英國皇家學會的會長。

晚飯期間，三位院士聊到了太陽系天體的運動。早在 17 世紀初，大天文學家刻卜勒就已經發現太陽系的各大行星都在沿橢圓軌道繞太陽旋轉。但大半個世紀過去了，一直沒人能解釋為甚麼它們的運動軌道會是橢圓形的。雷恩就在這個飯局上發起一個賭約：要是有人能解釋行星為何會沿橢圓軌道運動，他就獎勵那人 40 先令，這相當於當時一個大學教授半個月的薪水。

順便說一句。以今天的眼光來看，這完全是個搞笑性質的賭約。要別人解決全世界最大的科學難題，所給的獎勵竟只有一個大學教授半個月的薪水。

虎克是個吹牛大王，當場表示他已經解決了這個問題。不過，他不願意立刻公佈這個問題的答案。他的理由是，要是太早公佈答案，就會剝奪別人尋找答案的樂趣。當然，這次晚飯之後，虎克就把要公佈答案的事給「忘了」。

但哈雷對這個問題着了迷。他不相信虎克能找到問題的答案，但他知道這世上確實有一個人，有能力破解其中的奧秘。所以在 1684 年 8 月的一天，哈雷專程前往劍橋大學，去拜訪這個神龍見首不見尾的絕世高人。想必你已經猜到了，這個注定

要改變歷史進程的高人，就是大名鼎鼎的艾薩克·牛頓（圖 1.8）。

牛頓是有史以來最偉大的兩位科學家之一。他是世界上第二個被冊封為爵士的科學家（第一個是弗朗西斯·培根），也是世界上第一個享受國葬待遇的科學家。法國啟蒙思想家伏爾泰目睹了牛頓的葬禮，並在回憶錄中寫道：「英國人悼念牛頓就像悼念一位國王。」後世對牛頓有數不清的讚美。其中流傳最廣的是英國詩人亞歷山大·蒲柏的一首詩：Nature and nature's laws lay hid in night; God said "Let Newton be" and all was light.（道法自然，舊藏玄冥；天生牛頓，萬物生明。）

世界上有很多驚天動地的大事，都源於一些相當不起眼的小事。牛頓之所以能獲得如此的盛名，很大程度上就源於哈雷的這次拜訪。

在繼續講故事之前，讓我們先來簡單地回顧一下 17 世紀人們對引力的研究。現在我們已經知道，任意的兩個物體間都存在引力，且引力的大小與這兩個物體的質量成正比，而與它們距離的平方成反比，這就是引力的平方反比律。

現在很多教科書都說，引力的平方反比律是牛頓提出的。事實上，這種說法是錯的。早在 1645 年，也就是牛頓出生後的第 3 年，法國天文學家布利奧（圖 1.8）就提出了這個平方反比律。不過布利奧犯了一個很大的錯誤：他誤以為兩個物體之間有時存在引力，有時又存在斥力。

隨後，意大利物理學家博雷利（圖 1.9）也在自己的書中猜測，太陽系的所有行星都受到了太陽的引力，且太陽的引力滿足平方反比律。

到了 17 世紀 70 年代，虎克也開始大力宣揚平方反比律；他甚至在一封私人通



圖 1.8 布利奧



圖 1.9 博雷利



信中，向牛頓大力宣揚了這個理論。但類似於布利奧和博雷利，虎克同樣無法證明平方反比律的正確性。

為甚麼虎克等人都無法證明平方反比律是正確的呢？答案其實很簡單。前面說過，早在 17 世紀初，刻卜勒就提出了著名的刻卜勒三定律，揭示了太陽系的各大行星都在沿橢圓軌道繞太陽旋轉。要想證明引力的平方反比律，就得證明受到這種引力的行星，其運動軌道一定是一個橢圓。換句話說，就是要從平方反比律出發，最後推導出刻卜勒三定律（圖 1.10）。但問題在於，要想達到這個目的，就必須使用當時還不存在的的一種數學工具，那就是微積分。

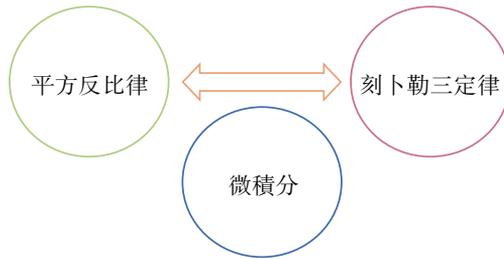


圖 1.10 科學史上最著名的難題

說到這裡，你就能明白牛頓的特殊之處了。作為微積分的發明者，牛頓是當時全世界唯一一個有能力破解這個超級世紀難題的「天選之人」。

但牛頓有一個怪癖：他不喜歡發表自己的研究成果。因此，儘管他早已破解了這個科學史上大名鼎鼎的世紀難題，卻一直秘而不宣。要是沒有意外，它很可能會被當成一個秘密，被牛頓帶進墳墓。

因此，1684 年 8 月的這次哈雷和牛頓的會面，就成了一個真正意義上的歷史轉折點。整個人類科學史，甚至是整個人類文明史，就此改寫。

寒暄了幾句後，哈雷就開門見山地問牛頓：「如果太陽與其他行星間的引力滿足平方反比律，那麼這些行星的運動軌道將會是甚麼樣的？」

牛頓不假思索地回答道：「當然是個橢圓。」

哈雷大為驚訝，馬上追問：「你是怎麼知道的？」

牛頓泰然自若地回答道：「我早就算過了。」

激動不已的哈雷，馬上要求看牛頓的計算過程。而牛頓在故紙堆裡翻了半天，甚麼也沒有找着。不過，他答應哈雷，會重新計算一遍，並把它寫成一篇文章。

兩年後，牛頓兌現了自己的諾言。事實上，他所做的比他承諾的要多得多。他交給哈雷的不是一篇論文，而是一本書，那就是《自然哲學的數學原理》(圖 1.11)。在這部有史以來最偉大的學術著作(沒有之一)中，牛頓基於歐幾里得開創的公理化體系，提出了牛頓力學三定律和萬有引力定律，從而完成了物理學史上的第一次革命。

這本書讓哈雷佩服得五體投地。此後他逢人便說，牛頓是這個世界上最接近神的人。持類似觀點的人還有後來與牛頓爭奪微積分發明權的大數學家萊布尼茨。他曾說過，牛頓在科學上的貢獻超過以前所有人的總和。

事實上，哈雷對人類文明最大的貢獻就是促成了《自然哲學的數學原理》這本書的出版。英國皇家學會本來已經同意出版這本書，但沒過多久又變卦了。這是因為皇家學會剛剛在一本叫《魚類志》的書上賠了很多錢，怕在一本極度晦澀難懂的書上繼續賠錢。所以哈雷乾脆自掏腰包，墊付了這本書的全部出版費用。1687年，這部劃時代的科學巨著正式出版。這讓牛頓立刻名滿天下，從而直接登上了科學的神壇。

一次飯局上的打賭，最後竟然促成了有史以來最偉大的學術著作的出版。這應該算是蝴蝶效應的最佳例證了。

順便說件比較搞笑的事情。皇家學會由於在《魚類志》上賠錢太多，無力支付哈雷為學會當秘書的工資，所以就把一些賣不出去的《魚類志》寄給他當薪水。

言歸正傳。知道了萬有引力的概念以後，我們就可以講講該如何測量地球的質量了。

眾所周知，地球上的所有物體都會受到重力的作用，而這個重力源於整個地球對它的萬有引力。這可以用一個非常簡單的公式來描述：

$$\frac{GMm}{R^2} = mg$$

這個公式的左邊是物體受到的萬有引力，右邊則是它受到的重力。其中的 m 是

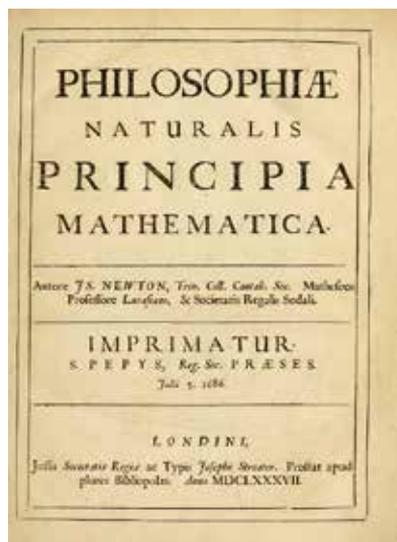


圖 1.11 《自然哲學的數學原理》



圖 1.12 亨利·卡文迪許

物體的質量，化簡時可以消掉； g 是重力加速度，約等於 9.8 米/秒^2 ； R 是地球的半徑，約等於 6400 千米（上一節已經講過如何測量地球的周長，由此可以推算出地球的半徑）。這樣一來，不知道的物理量就只剩兩個：牛頓引力常數 G 和地球質量 M 。換言之，只要能用別的辦法測出牛頓引力常數，就可以算出地球的質量。

而世界上第一個測出地球質量的人，是英國物理學家亨利·卡文迪許（圖 1.12）。

卡文迪許有兩個非常鮮明的特點。第一，他完全不追求任何名利，不管做甚麼事都是從個人興趣出發。這倒不奇怪，因為他本身就是全英國最富有的大

貴族之一，根本用不着再去追求甚麼名利了。

第二，他患有非常嚴重的社交恐懼症。嚴重到甚麼地步呢？他不願意與任何人見面，就連他的管家也只能通過書信的方式來和他交流。卡文迪許只參加一個社交活動，那就是在博物學家班克斯家裡舉行的每週一次的科學界聚會。但所有想和他交流的人，都必須使用對待「隱形人」的交流方式。也就是說，你得漫不經心地晃悠到他的附近，在不看他的情況下，對他身邊的空氣講話。要不然，卡文迪許就會尖叫一聲，然後逃到沒人的地方。

這兩個特點導致了一個非常詭異的後果：卡文迪許一生中做出了一大堆相當重要的科研成果，但只是把它們寫進手稿，而沒有寫成論文發表。在不願發表論文這件事上，他比牛頓還要極端。結果這些科研成果後來又被其他人重新發現，然後被冠以那些人的名字。比如說，大家學過的庫侖定律、歐姆定律和道爾頓定律，其實都是卡文迪許最早發現的。

當然，凡事總有例外。卡文迪許一生中做過的最有名的科學實驗，也就是對引力常數 G 的精確測量，最初的創意卻不屬於他，而屬於一個名叫約翰·米歇爾的牧師。

由於米歇爾沒有留下任何畫像，沒人知道他具體長甚麼樣；只有一些文字記載告訴我們，他是一個身材矮小、皮膚黝黑的胖子。但這個其貌不揚的人，卻有一段不平凡的過往。他曾在劍橋大學皇后學院任教多年，還曾當上了這個學院的學監。

但由於一些意外的變故，他不得不辭去劍橋大學的職位，跑到外地去做了一個教堂的主管。

米歇爾最早提出，有可能存在一種質量特別大的恆星，其引力強到就連光也無法從它的周圍逃逸。這樣一來，人們就永遠看不到它。米歇爾把這種看不見的恆星稱為「黑星」。這就是著名的「黑洞」概念的起源。

他也自己做了一套實驗裝置，想要用它測量引力常數 G 的大小。可惜的是，米歇爾還沒來得及做這個實驗，就因病去世了。這套裝置幾經輾轉，就到了卡文迪許的手裡。1797 年，卡文迪許對它進行了改進，然後用它完成了著名的卡文迪許扭秤實驗。

圖 1.13 就是卡文迪許扭秤實驗的原理圖。可以看到，此裝置有一個倒 T 形的輕桿，它下面的兩端連着兩個質量相同、均為 m 的小球，而從中間伸出去的那端則連着一個小平面鏡。把這套裝置懸掛起來，然後用一束光去照那個平面鏡；這束光會被平面鏡反射，然後打到旁邊的一把尺子上。

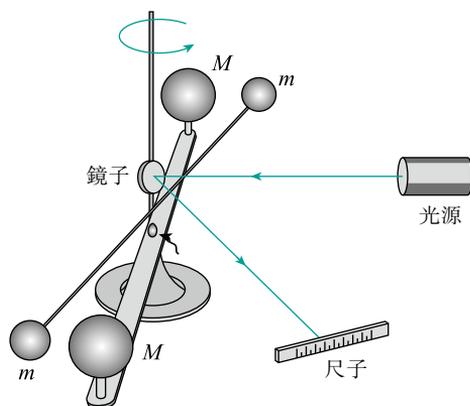


圖 1.13 卡文迪許扭秤實驗

接下來，在這兩個小球的旁邊，再放置兩個質量一樣、均為 M 的大球。由於大球的引力，懸掛着的倒 T 形桿會發生一個微小的偏轉。這樣一來，入射光與平面鏡之間的夾角會發生一個微小的改變，從而使光線打到尺子上的位置發生一定的偏移。通過測量這個位置的偏移，就可以計算出大球與小球之間的引力大小，進而測出牛頓引力常數 G 。

這個實驗的精妙之處在於，它把非常難測的引力大小，轉化成了容易測的位置



變化，從而讓牛頓引力常數的精確測量成為可能。

利用這套裝置，卡文迪許測得的牛頓引力常數是 6.754×10^{-11} 牛·米²·千克⁻²。而今天，最新的引力常數測量值是 6.674×10^{-11} 牛·米²·千克⁻²。換言之，卡文迪許在 200 多年前測出的結果，與目前最新的結果相比，只有區區 1% 的誤差。

用這個牛頓引力常數的測量值，可以算出地球的質量大概是 6×10^{24} 千克。

我們來做個總結。由於一場飯局上的賭局，哈雷於 1684 年 8 月來到劍橋大學，拜訪了離群索居的牛頓。此次拜訪就像第一張倒下的多米諾骨牌，最終促成有史以來最偉大的學術著作，即《自然哲學的數學原理》，在 1687 年正式出版。在這本巨著中，牛頓提出了萬有引力定律，從而為測量地球的質量帶來了曙光。1797 年，卡文迪許通過扭秤實驗，相當精確地測出了牛頓引力常數的大小，進而算出地球的質量大概是 6×10^{24} 千克。

早在 18 世紀末，人類就已經測出了地球的質量。你可能會覺得，那麼下一個課題，也就是地球年齡的測定，應該就不是甚麼難事了吧？大錯特錯。事實上，一直要等到 1955 年，也就是人類發明計算機和原子彈的 10 年後，才有人準確地測出了地球的年齡。

1.3 人類如何測出地球的年齡？

關於地球年齡的測量，讓我們從一個著名物理學家被打臉的故事說起。

在所有的自然科學中，最「硬」、最能揭示世界本質的，無疑是物理學。換言之，如果物理學家與其他學科的科學家就某個科學問題發生爭執，一般都是物理學家笑到最後。但凡事總有例外。物理學家也曾被其他學科的科學家狠狠地打過臉。其中最典型的被狠狠打臉的例子，就是英國著名物理學家開爾文勳爵（圖 1.14）。

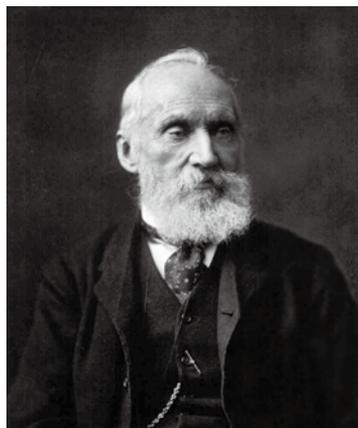


圖 1.14 開爾文勳爵

開爾文勳爵原名威廉·湯姆森，1824 年出生在英國一個知識分子的家庭。他是一個神童，10 歲就考上了格拉斯哥大學，22 歲就當上格拉斯哥大學的教授。終其一生，他發表了 660 多篇科學論文。更重要的是，他是熱力學的開創者之一，對熱力學第一定律和第二定律的建立作出了重大的貢獻；此外，他還發明了後來以他自己名字命名的絕對溫標。這讓他成為 19 世紀最有名的物理學家之一。

除了在學術界享有盛名，湯姆森也是一個非常成功的企業家。他成立了一家公司，專門生產和銷售自己發明的一種航海羅盤；很快地，這家公司就成為英國海軍最大的供應商，讓他賺了很多錢。此外，他還成立了一家電力公司；所以他的家，就成為整個格拉斯哥市第一棟裝上電燈的房子。更有影響力的是，他領導着一家公司，成功地鋪設了第一條跨越大西洋的海底電纜。

由於在學術界和工業界的傑出貢獻，1892 年威廉·湯姆森被英國皇室冊封為第一代開爾文男爵（「開爾文」原本是一條流經格拉斯哥大學的河流的名字）。不過，人們更習慣稱他開爾文勳爵。

當然，金無足赤，人無完人。開爾文勳爵也曾擺過兩次烏龍。最有名的一次烏龍發生在世紀之交的 1900 年。在那年的一次演講中，開爾文勳爵公然宣稱物理學的大廈已經建成，剩下的只是一些修修補補的簡單工作。雖然他提到在物理學的天空



上還飄浮着兩朵烏雲，但是他認為那只是兩個用不了多久就能徹底解決的小問題。事實證明他大錯特錯。在 20 世紀初，那兩朵烏雲變成了兩座全新的物理學大廈，即相對論和量子力學。這件糗事甚至被寫進了不少國家的初中課本，讓開爾文勳爵至今還受世人的嘲笑。

開爾文勳爵擺過的另一次烏龍就是他對地球年齡的錯誤估算。他是用熱力學的方法估算地球年齡的：假設地球最初是一個巨大的火球，隨着時間的推移，這個火球就由外向內逐漸冷卻，從而變成今天的樣子；而這個冷卻的時間，就是地球的年齡。1862 年，他發表了一篇論文，宣稱地球的年齡在 2 億年到 4 億年之間。而到了 1897 年，他又發表了一篇論文，宣稱地球年齡其實是 2400 萬年左右。

可能你會覺得奇怪：為甚麼兩篇論文的結果會有天壤之別？這是因為開爾文勳爵中途意識到，基於當時的物理學理論，太陽最多只能燃燒幾千萬年。所以他就修改了自己的理論模型，從而大幅減小了地球的年齡。

不過，很快就有一群意想不到的人跑了出來，毫不留情地打了開爾文勳爵的臉。

著名美劇 *The Big Bang Theory* 的謝耳朵（謝爾頓，Sheldon），一位相當自負的理論物理學家，很喜歡貶損除理論物理以外的學科。他特別瞧不起地質學，甚至公然宣稱地質學根本就不是一門真正的科學。很明顯，他不太了解物理學史。因為跑出來對開爾文勳爵的人，就是一群地質學家。

可能你要問了：「這群地質學家是怎麼計算地球年齡的呢？」答案是：通過觀察一些古老的沉積岩（圖 1.15）。



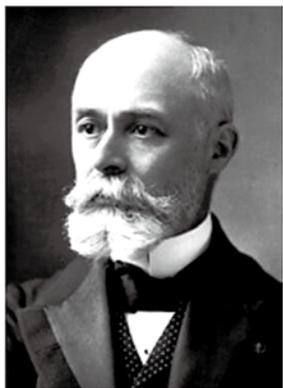
圖 1.15 沉積岩

在地球上，有一種很重要的岩石類型，叫作沉積岩。沉積岩的結構是一層層的，越下層的沉積岩，年代就越久遠。通過研究某層岩石的沉積速度，就能計算出形成該層岩石所花費的時間；再把各層岩石的形成時間都加起來，就可以估算出形成整個沉積岩地形所花費的時間。那些地質學家就把這個時間，近似看成是地球的年齡。

很多地質學家都用這種辦法估算過地球的年齡，而他們算出來的數字明顯大於開爾文勳爵公佈的結果。舉兩個例子，查理斯·達爾文曾在第一版的《物種起源》中宣稱，地球的年齡至少在 3 億年以上；而劍橋大學三一學院的地質學家塞繆爾·霍頓更是宣稱，地球的年齡高達 23 億年。

這樣一來，關於地球的年齡，就有了勢不兩立的兩派觀點。開爾文勳爵認為，地球的年齡大概只有 2400 萬年。而地質學家則認為，地球的年齡至少有好幾億年。雙方一直公說公有理，婆說婆有理。但到了 1907 年，一個人的出現，徹底打破了天平的平衡。

為了說清楚其中的道理，我要先講一講甚麼是「放射性」。所謂的放射性，就是指一些不穩定的原子核會自發地放出某些射線，然後衰變成一些穩定的原子核的現象。1896 年，法國物理學家安東尼·貝克勒爾率先發現鈾元素具有放射性。兩年之後，皮埃爾·居里和瑪麗·居里發現釷元素的放射性更強。這三人也因此共享了 1903 年的諾貝爾物理學獎（圖 1.16）。



安東尼·貝克勒爾



皮埃爾·居里



瑪麗·居里

圖 1.16 1903 年諾貝爾物理學獎得主

順便多說一句。本來，評獎委員會只打算把這個獎頒發給安東尼·貝克勒爾和



圖 1.17 歐內斯特·盧瑟福

皮埃爾·居里兩人。但皮埃爾·居里非常愛他的妻子，堅決要求把居里夫人也列為獲獎者，否則他就不去瑞典領獎。在徵求了貝克勒爾的意見以後，評獎委員會做出了以下的決定：貝克勒爾獨得 $1/2$ 的獎金，而居里夫婦各得 $1/4$ 的獎金。幸好由於皮埃爾·居里的堅持，居里夫人才沒有被歷史埋沒。

到了 1907 年，打破天平平衡之人，終於登場了。他就是英國著名物理學家歐內斯特·盧瑟福（圖 1.17）。

在物理學界，盧瑟福以看不起其他學科而出名。他曾說過這樣一句名言：「世界上所有的科學，不是物理學，就是集郵。」言下之意是，與物理學相比，其他自然科學都和集郵一個檔次。這句話得罪了很多其他學科的科學家，其中反應最激烈的是化學家。事實上，他們甚至對盧瑟福進行了「報復」，給他發了一個諾貝爾化學獎。

在 20 世紀初，人們已經知道，對於含有放射性的元素，其部分的原子核會自發地衰變成其他元素的原子核，從而使放射性元素的質量減小。1907 年，盧瑟福發現了一個非常奇妙的現象：對所有放射性元素而言，其原子核衰變到只剩一半時所花費的時間（科學上稱為半衰期）是固定不變的。比如說，100 千克的某種放射性元素衰變得只剩 50 千克，與 50 千克的同種放射性元素衰變得只剩 25 千克，兩者所花的時間完全相同。

盧瑟福的發現有很大的實用價值。比如說，如果某件古董裡含有一種放射性元素，我們就可以通過測量這種放射性元素與它最後衰變成的那種元素之間的比例，來確定古董的年代。換句話說，我們可以把放射性元素的半衰期當成一個標準的時鐘，來測量古老物體的年齡。事實上，要是比測量精度，無論是開爾文勳爵的熱力學方法，還是地質學家的沉積岩方法，都比這種用放射性元素半衰期的方法差得遠。

通過研究了一些古老礦石的衰變情況，盧瑟福發現地球的年齡至少有 7 億年。這個結果宣告了地質學家的勝利。

更重要的是，盧瑟福的發現為地球年齡的測量指明了方向。只要能找到地球上最古老的岩石，然後再利用某種放射性元素的半衰期來計算它的年代，就可以估算出地球的年齡。當然，具體該用哪種放射性元素來測，還是一個懸而未決的問題。

下一個作出重要貢獻的人是英國地質學家阿瑟·霍姆斯。霍姆斯主要關注鈾元素的一種同位素鈾 235。大家對鈾 235 應該並不陌生，因為它後來成了製造原子彈的主要原料。鈾 235 具有放射性，可以自發地衰變成鉛 207；更關鍵的是，鈾 235 的半衰期長達 7 億年。所以它可以作為一個很理想的時鐘來測量地球年齡。通過測定古老岩石中鈾 235 和鉛 207 的比例，霍姆斯在 1927 年發表了一篇文章，宣稱地球的年齡介於 16 億年到 30 億年之間。而到了 1946 年，他又發表了一篇文章，宣稱地球的年齡應該在 30 億年以上。

1948 年，芝加哥大學地質學教授哈里森·布朗也對地球的年齡產生了濃厚的興趣。但他意識到這是一個大坑，不想自己傻乎乎地往裡跳。因此，布朗就把測定地球年齡的課題交給了自己的博士研究生克萊爾·彼得森。為了讓彼得森來跳這個坑，布朗忽悠他說這個課題「易如反掌」。結果，彼得森就這麼被忽悠了進來。

這個世紀難題的終結者，就此登上了歷史的舞台。

以前人們測量地球的年齡，都是去尋找一些特別古老的岩石。但問題在於，那些所謂的古老岩石，其實都是在地球誕生很久之後才形成的。換句話說，如果只是研究地球上的岩石，可能會大幅低估地球的年齡。

彼得森另闢蹊徑，提出了一個非常大膽的猜想：從太空中掉下來的那些隕石，其實是太陽系形成初期剩下來的建築材料，它們的內部還保留着太陽系最原始的化學組分。換句話說，這些隕石其實和地球一樣古老。這樣一來，只要用霍姆斯的辦法，準確測出這些隕石到底存在了多少年，就能推算出地球的年齡。這個宛如天外飛仙般的奇思妙想，為解決地球年齡這個世紀難題帶來了真正的曙光。

當然，通往成功的道路往往都不平坦。在實際測量過程中，彼得森遇到了一個很大的麻煩：隕石樣品只要一接觸到空氣，樣品中鉛的含量立刻會顯著上升；換言之，這些樣品很容易受到空氣中鉛的污染。為了對付這個麻煩，彼得森在自己工作的加州理工學院建立了世界上第一個無菌實驗室。他在無菌實驗室裡仔細挑選古老隕石的樣品，並精確測定其中鈾和鉛的比例。他的努力，終於在 7 年之後獲得了回報。

1955 年，彼得森在一次學術會議上正式宣佈，地球的確切年齡是 45.5 億年。這個結果，一直到現在也沒有發生大的改變。在經過近百年的努力之後，人類終於測出了地球的年齡。

關於彼得森，不妨再多說幾句。因為測出了地球的年齡，並不是彼得森人生的頂點。



成名之後，彼得森開始關心另一個問題：為甚麼大氣中會含有這麼多的鉛？通過研究格陵蘭島上不同年代的積雪層，他發現大氣中鉛的含量是在 1923 年突然暴增的。而那一年，美國的三家巨無霸公司（通用汽車公司、杜邦公司和新澤西標準石油公司）成立了一個叫作乙基汽油公司的合資企業，並開始向全世界出售含鉛汽油。

從那以後，彼得森就開始了一場致力於保護環境的漫長鬥爭。他經常公開抨擊乙基汽油公司，並呼籲政府盡快立法，以禁止含鉛汽油的銷售。

乙基汽油公司的反撲非常兇猛。它動用各種關係，讓彼得森無法再獲得任何科研經費。此外，它還向加州理工學院的董事會不斷施壓，想讓彼得森丟掉飯碗。

這幾乎是一個不可能完成的任務：一個普通人，要孤身對抗一個龐大的利益集團。幸好，彼得森沒有放棄。在他的不斷呼籲下，環保意識逐漸在美國民眾的心中覺醒。1970 年，美國國會提出了《潔淨空氣法》；1986 年，美國政府禁止了一切含鉛汽油的銷售。在經歷了幾十年艱難的抗爭，彼得森終於笑到了最後。

我們來做個總結。在 19 世紀末，基於熱力學的研究，開爾文勳爵宣稱地球的年齡應該是 2400 萬年。但很快地，他就被一群地質學家打了臉；他們通過觀察一些古老的沉積岩，算出地球的年齡至少有好幾億年。到了 1907 年，盧瑟福發現所有放射性元素的半衰期都固定不變；這個發現宣告了地質學家的勝利，同時也為地球年齡的測量指明了方向。20 世紀 20 年代，霍姆斯指出鈾 235 的半衰期可以用來測量地球的年齡。而到了 1955 年，彼得森通過測量古老隕石中鈾和鉛的比例，發現地球的確切年齡應該是 45.5 億年。在經過近百年的努力之後，人類終於測出了地球的年齡。

我已經講完了地球的形狀、大小、質量和年齡。下一節，我會聊聊地球到底具備哪些特殊的條件，從而變成了生命的綠洲。

1.4 為甚麼地球能成為生命的綠洲？

就目前所知，地球是唯一一個擁有生命的星球。在危機四伏、到處都是不毛之地的宇宙中，居然還存在一個如此美麗而生機勃勃的綠洲，實在是一個不折不扣的奇跡。

事實上，一個星球要想孕育出生命，是件極端困難的事情。不說其他因素，僅對這個星球本身而言，就必須同時滿足以下三個條件：

第一，它必須有一個合適的質量，不能太小也不能太大。如果質量太小，它就無法靠自身引力阻止周圍氣體的逃逸，從而變成一顆沒有大氣層環繞的岩石星球；如果質量太大，它就會吸引太多的氣體，從而變成一顆氣態行星。在這兩種情況下，生命都無法生存。

第二，它必須處於一個合適的位置，與恆星離得不能太近也不能太遠。如果離得太近，星球的表面溫度就會很高，讓所有的水都變成水蒸氣；如果離得太遠，星球的表面溫度就會很低，讓所有的水都變成冰。換句話說，要想保證液態水的存在，這個星球必須位於一個狹小的圓環區域內，這就是所謂的宜居帶。事實上，如果地球離太陽再遠 5%，或者再近 15%，就會從這個宜居帶裡掉出去。

第三，它必須有一個合適的內部活躍程度，不能太平靜也不能太劇烈。如果內部活動太平靜，就不會產生地質活動，也無法形成大氣和磁場；如果內部活動太劇烈，地震和火山就會持續不斷地爆發，把這個星球變成一個活生生的地獄。

在接着講地球為何是生命綠洲之前，我想先談一個比較理論、也比較前沿的話題。

事實上，沒有任何一個科學理論能決定一個星球的初始狀態。換句話說，一個星球的質量、位置和內部活躍程度應該是完全隨機的。既然如此，為甚麼地球能完美地滿足這三大條件呢？

最早回答這個問題的人，是澳大利亞裔物理學家布蘭登·卡特。如果你以前看過霍金的《時間簡史》，應該會對這個名字有印象。事實上，卡特是英國物理學家霍金的同門師弟，並且與霍金一起提出了著名的黑洞無毛髮定理。

1973年，卡特參加了一個紀念哥白尼 500 周年誕辰的學術研討會。在這次研討



會上，他提出了一個影響深遠的理論，那就是著名的人擇原理。人擇原理說的是，如果一個自然現象無法產生任何觀察者，那麼這個現象就不可能被觀察到。這意味着，追問不可能被觀察到的現象為甚麼不存在，是一件沒有意義的事情。

有了人擇原理，前面說的那個問題立刻就迎刃而解了。如果地球不滿足這三大條件，地球上就不可能出現生命，也就不會出現像我們這樣的智能生命來追問這個問題。換句話說，我們能追問這個問題，這本身就是這個問題的答案。

正是由於有合適的質量、位置和內部活躍程度，地球才得以長期擁有使她變成生命綠洲的三大要素，也就是海洋、大氣和磁場。

讓我們從地球的海洋說起。就目前所知，地球是獨一無二的表面擁有液態水的星球。據科學家估算，地球擁有的總水量約為 13.76 億立方千米，其中海水總量約為 13.35 億立方千米，大概佔地球總水量的 97%。一般來說，海水會吸收波長較長的紅光、橙光和黃光，而反射或散射波長較短的綠光和藍光，這會讓大海看起來是藍色的。由於海洋面積大概佔地球總表面積的 75%，所以人們經常把地球稱為藍色星球。

眾所周知，水是生命之源。現在有很多生物，沒有氧氣和陽光也能生活下去；但沒有發現任何一種生物，能在沒有水的情況下生存。事實上，地球上最早的生命，就誕生在海水中。原因很簡單。對於蛋白質之類的有機大分子而言，水是最好的溶劑。正是在液態水的環境中，這些有機大分子才可以互相混合，進而通過各種化學反應來形成複雜的結構，最終演化成真正的生命體。此外，水也是生命的很多新陳代謝活動的基礎。舉個例子，如果沒有水，光合作用和呼吸作用就都無法再進行下去。從這個意義上講，液態水是生命活動不可或缺的舞台。所以，地球能擁有液態水的海洋，實在是地球生命的福音。

但是，僅僅擁有海洋，還是遠遠不夠的。因為在任何溫度下，水都可以蒸發。舉個例子，你要是把一盆水放在地上，時間長了，你就會發現這盆水變得越來越少，最後甚至完全消失。這是因為液態的水自發地變成了氣態的水蒸氣。同樣的道理，海洋裡的水，也會自發地變成水蒸氣。如果沒有其他因素阻止，這些水蒸氣就會逃逸到太空中；久而久之，地球上的海洋全都乾涸。

幸好，地球擁有阻止水蒸氣逃逸的機制，那就是地球的大氣。

眾所周知，地球擁有一個大氣層，也就是受地球引力吸引而環繞地球的一層混合氣體（圖 1.18）。據科學家估算，這層混合氣體的總質量約為 5.15×10^{18} 千克，其

中包含質量分數大約 78% 的氮氣和 21% 的氧氣，此外還包括氫氣和二氧化碳在內的少量其他氣體。

事實上，正是這個大氣層阻止了水蒸氣的逃逸。由於大氣層的溫度較低，水蒸氣進入大氣層以後，會遇冷而凝結成小水滴，然後再以降雨的形式返回地表。如果地球沒有大氣，這個水循環就會被打破；久而久之，地球表面的水就會蒸發殆盡。

事實上，地球大氣還有很多其他的重要功能。比如說，地球大氣中還含有一些溫室氣體，包括二氧化碳、水蒸氣、甲烷和臭氧。溫室氣體最大的特點是，對波長較短的電磁波幾乎沒甚麼影響，而對波長較長的電磁波有很強的吸收能力。太陽表面的溫度很高，輻射出來的電磁波能量高波長短，所以不會受到溫室氣體的阻礙，能順利到達地球表面。而地球表面的溫度較低，輻射出來的電磁波能量低波長長，所以會有很大一部分被溫室氣體攔截下來。因此，溫室氣體的存在能讓行星表面的溫度升高，這就是所謂的溫室效應。據科學家估算，如果沒有溫室效應，地球表面的平均溫度大概會下降 32°C。

此外，地球大氣層中還有一個臭氧層，大致分佈在與地球表面相距 20—30 千米的環形區域。臭氧層能吸收掉太陽光中 97% 的紫外線。如果沒有這個臭氧層，這些高能的紫外線就會直接照射到地球表面，從而對地球生命造成嚴重的威脅。不是甚麼天體都能擁有大氣層。比如說，我們熟悉的月球就沒有。那到底甚麼樣的天體能擁有的自己的大氣層呢？這取決於它的質量和它與太陽之間的距離。一方面，大氣會受到這個天體引力的吸引，從而被束縛在此天體的周圍。引力束縛的強弱取決於天體的質量：質量越大，引力的束縛就越強。另一方面，大氣又會從太陽那裡獲得熱量，從而產生逃跑的動力。逃跑動力的大小取決於天體與太陽之間的距離：離得越近，大氣逃跑的動力就越強。這兩股力量一直在彼此鬥爭。如果引力的束縛佔了上

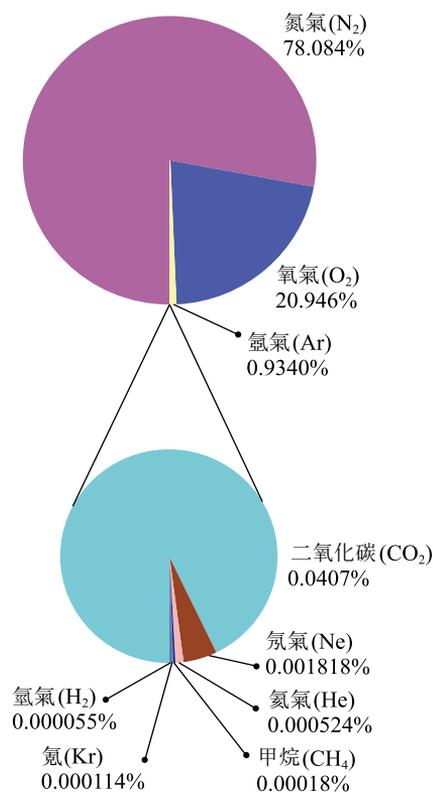


圖 1.18 地球大氣的組成



風，行星就能擁有自己的大氣層；如果逃跑的動力佔了上風，行星就會變成光禿禿的樣子。我們的地球能擁有大氣層，就是地球引力佔上風的結果。不過，只是引力佔上風，還不足以讓一個天體一直保有大氣層。地球之所以能一直保有大氣層，是因為它還有一個強大的磁場。

地球磁場（圖 1.19）其實是一個從地球內部一直延伸到太空中的巨大磁場。中國古代四大發明之一的指南針之所以能夠辨別方向，就是由於這個地球磁場的存在。不過，地球磁場的磁軸與地球的自轉軸並不重合，兩者之間還存在着一個 11 度的夾角。此外，地球磁場的南北極其實與地理上的南北極相反。

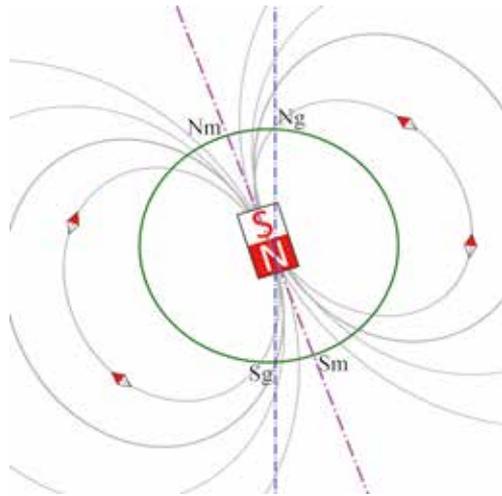


圖 1.19 地球磁場

地球磁場最主要的作用是抵禦太陽風。太陽風是太陽發出的高能帶電粒子流，主要由處於電離狀態的氫和氦（也就是去掉外層電子的氫原子核和氦原子核）構成。由於這些帶電粒子流具有很高的能量，地球的大氣層無法阻止太陽風的長驅直入。所以，要是沒有別的東西來阻止它，太陽風就會一直颳到地表，對地球生命造成嚴重威脅。

幸好，地球有強大的磁場。眾所周知，在磁場中，帶電粒子的運動軌道會發生偏轉。因此，地球磁場能迫使太陽風中的高能帶電粒子朝地球兩極的方向發生偏轉。到了兩極地區，這些帶電粒子會與位於高層的大氣分子發生碰撞，從而形成美麗的極光（圖 1.20）。



圖 1.20 美麗的極光

更重要的是，地球磁場阻止了太陽風剝離地球大氣。如果太陽風能直接轟擊到地球大氣層，這些高能帶電粒子就會把自身的能量傳遞給地球的大氣分子，從而讓它們可以掙脫地球引力並逃逸到太空中。久而久之，地球的大氣層就會被太陽風逐漸剝離。幸好，地球磁場構築了一個天然的屏障，有效地阻止了太陽風與地球大氣的直接接觸。這樣一來，地球引力就可以牢牢地束縛住大氣分子，從而讓地球一直保有自己的大氣層。

我們來做個總結。就目前所知，地球是唯一一個擁有生命的星球。由於有合適的質量、位置和內部活躍程度，地球得以長期擁有海洋、大氣和磁場。海洋為生命的誕生提供了舞台，大氣阻止了海洋的蒸發，而磁場保證了大氣不會被太陽風剝離。正是由於這三大要素，地球才成為一個美麗的生命綠洲。