

太陽系理論的突破

陳天機 王永雄 彭金滿*

香港中文大學

一、「科學革命」

中古時代的歐洲學者放棄了自古已有的自大心態，奠定了客觀科學的基礎，直接及間接地帶動了多方面的改革，加速了社會演變的步伐，結果大大提高了全球居民的生活素質。學者通常用「科學革命」（the scientific revolution）一詞來描繪這劃時代的突破，雖然我們今天所認識的科學並非當時革命的原動力，而是這革命的產兒。

（一）哥白尼

不少人也稱這革命做「哥白尼的革命」（the Copernican revolution），¹未免過譽這位業餘天文學家了。筆者在〈地心論面臨挑

* 陳天機，香港中文大學大學通識教育部訪問教授。
王永雄、彭金滿，香港中文大學物理系導師。

1 哥白尼（Nicolaus Copernicus, 1473–1543），波蘭天主教修士（canon）、業餘天文學家。N. M. Swerdlow和O. Neugebauer著有透闢的傳記，參見*Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus* (New York: Springer-Verlag, 1984), 3–32。關於哥白尼和其他重要學者的傳記亦可參閱J. J. O'Connor and E. F. Robertson, *The MacTutor History of Mathematics Archive*, 2005, 〈<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/index.html>〉。

戰〉一文已講過，²他不是第一位提出日心論的人，但他提出的理論確實引起了中古歐洲學者的廣泛注意和討論，這有似哥倫布發現「新」大陸。實際上，哥白尼理論從未成為太陽系學說的主流。近年學者綜合多方面的文獻資料，質疑他所提出的「創見」，更令他頭上的光環失色。

哥白尼的《天球旋轉論》³所強調的簡潔之美只限於前哲已講過的大體理論。他自己的貢獻是：他用大體理論最先描述了太陽系日心模型的全貌，輕易地解釋了行星的逆行，算出六大行星軌道大小的比例（誤差只有4%）。但他所提出的細節理論不如托勒密理論精確，而複雜過之。他將托勒密構思裏的每一個「均衡點」都改成加添的周轉圓，所採用的主要定理來自伊斯蘭天文學家。

（二）舊時代的標誌

科學革命送舊迎新。舊時代（至1601年）天文學探討的特徵是：

工具：（無可避免的）肉眼觀測；簡單粗陋的儀器。

直線圓規幾何與簡單三角學；雜亂的數字、符號表示方式；算術竟屬大學課程。

瞭解：認為宇宙比太陽系大不了多少。

相信星象、人生互相緊密影響；天文學家往往兼任星相術士。

對相對運動缺乏瞭解：同一物理現象在不同座標系統下表示，往往被誤認為是絕然不同的物理模型。

缺乏對質量、引力等物理概念的認識。

將物理模型與數學漸近技術混為一談。

2 「筆者」代表本文的所有作者。〈地心論面臨挑戰〉一文為筆者所作，發表於本刊2007年3月，總第二期，頁125-149。下文所言「前文」亦指此文。

3 拉丁文書名為*De Revolutionibus Orbium Coelestium*，英譯名*On the Revolution of Celestial Spheres*。

構思：以神學、美學為依歸的主觀構思。

特設「只此一次 (*ad hoc*)」的太陽系理論。

用多個圓形堆砌出來的周轉圓軌道。

理論背後欠缺高層次的原理；無從推廣到其他領域。

(三) 新時代科學的特色

取而代之的，是新時代物理科學（經典物理學：十七世紀至十九世紀中葉），標誌是：

工具：望遠鏡為主的儀器觀測技術；⁴精確的計時技術。

數學技術的發展和廣泛應用：三角、對數、方程式、解析幾何、微積分。

模型：簡潔的「二次曲線」（橢圓、拋物線或雙曲線的一臂）軌道；不用周轉圓。

原理：太陽系諸軌道相互關係的探討。

高層次原理的尋求：從軌道理論與「動力學」歸納出簡明定律，從而引出可以廣泛應用的經典力學。

科學方法的介定、採用；科學評估制度和發表渠道的確立。

符合觀測、實驗和推論的客觀、數量化科學。

數學漸近技術的發展。

瞭解：知道太陽系只是宇宙的一小部分。

開始認識：座標系統的選擇與所表達的物理現象無關。

（但特例往往仍然產生誤解。）

實用：應用科學和工程學的確立。

4 1608–09年，伽利略（Galileo Galilei, 1564–1642）首次將自製的望遠鏡指向夜空，有諸多發現。

（四）過渡時期

過渡時期出現在兩個世紀（十六至十七世紀）之間的神聖羅馬帝國和意大利，這是歐洲宗教歷史上驚濤駭浪的時代。過渡時期的三位重要科學人物中，布拉赫和開普勒都是新教徒，伽利略是天主教徒。⁵ 多明各會教士布魯諾⁶ 自動脫教，到處宣揚哥白尼理論，宣稱宇宙無窮，許許多多地方都有太陽系，都有人居住，天主教會禁錮他八年後，在1600年判他為異端，處以燒刑。但布魯諾的罪狀文獻早已佚失，故不能確定是否由於當時仍未被公開宣禁的日心論。

天主教與新教信徒劍拔弩張，互不相讓，無可避免地引發了「三十年戰爭」（1618–1648），蹂躪了名義上隸屬於神聖羅馬帝國的許多日耳曼諸侯國。不可思議的是，這宗教戰爭竟然變質，成為國家謀取政治利益的工具。結果雙方筋疲力竭，簽訂了劃時代的威斯特伐利亞和約（Treaty of Westphalia），有史以來首次公開確認國家的主權。

（五）地心論面對的挑戰

在〈地心論面臨挑戰〉一文中，筆者敘述了哥白尼日心論挑戰托勒密的地心論。「地球是宇宙唯一不動中心」的自大看法，在公開質疑之下已經開始動搖了。但半個世紀後，主流理論卻是第三者——空前準確，且不抵觸教條的布拉赫「行星繞日、日繞地球」第谷模型。以今日「事後孔明」的眼光來看，就大體理論而言，第谷理論與哥白尼的日心論，只是不同座標系統表示下的**同一物理模型**；**唯一**與托勒密的地心論構思相容的物理模型正是第谷／哥白尼模型。

5 布拉赫（Tycho Brahe, 1546–1601），丹麥天文學家；開普勒（Johannes Kepler, 1571–1630），德國天文學家。

6 布魯諾（Giordano Bruno, 1548–1600）。

二、布拉赫與開普勒

(一) 舊時代的終結

丹麥天文學家布拉赫為古天文學史畫上了句號，他代表了舊時代的終結，但也埋下了新時代的種子。他所搜集的觀測數據比自己提出的第谷理論更加精確，終於引出了開普勒劃時代的突破。

十六世紀末葉，布拉赫與丹麥新國王鬧翻了。⁷ 他離開丹麥，輾轉到了神聖羅馬帝國首都布拉格。1599年，皇帝魯道夫二世聘他為神聖羅馬帝國數學家，⁸ 翌年他僱用了開普勒。⁹

(二) 開普勒

1. 不渝的日心論者

德國圖炳根（Tübingen）大學天文學教授梅思林¹⁰ 在課堂上教地心論，但卻對研究生講解哥白尼的日心論。學生開普勒成為不渝的日心論信徒，他在信奉新教的格拉茨（Graz）神學院¹¹ 做了六年數學教授。1600年，神聖羅馬帝國要驅逐新教徒出城。恰巧梅思林接到布拉赫的來信，便介紹了開普勒。開普勒「不僅近視，而且小時候的一場差點要了他命的天花還給他留下了看東西重影的後遺症。」¹² 幸好布拉

7 新國王Christian IV認為布拉赫苛待島民，更沒有遵約修葺島上的教堂。

8 Rudolph II（1552–1612）。布拉赫的服務包括為皇帝作星相占卜。

9 參見J. J. O'Connor and E. F. Robertson, “Kepler” 條；亦可參閱NASA, “Between Jupiter and Mars, I Place a Planet,” *Dawn: A Journey to the Beginnings of the Solar System*, 〈http://dawn.jpl.nasa.gov/DawnCommunity/flashbacks/fb_02.pdf〉。

10 Michael Maestlin (1550–1631)。

11 格拉茨市（Graz）在神聖羅馬帝國治下，奧地利的Styria省。

12 參見霍金的導讀，載於S. Hawking ed., *On the Shoulder of Giants, Part 3: Harmonies of the World* (Jerusalem: The Jewish National and University Library, 2002)。中譯本：克卜勒著，霍金編、導讀，張卜天譯：《世界的和諧》（台北：大塊文化，2005年），頁14。

赫需要的不是更多的觀測，而是觀測數據的詮釋。布拉赫本人並不相信日心論，但仍有足夠量度聘請這位抱有異見的助手。

開普勒那時已經出版了《宇宙奧秘》，描述他所熱中的神秘太陽中心理論。¹³ 在幾何學上的正多面體恰有五種。每個正多面體可以有「內切」、「外切」的正圓球殼，他所知的行星，包括地球，只有六顆。開普勒於是認為行星的圓形軌道恰在這些球殼上面（圖2-1）：

太陽／正8面體／水星／正20面體／金星／正12面體／
火星／正4面體／木星／正6面體（立方形）／土星。

按照這理論計算軌道的相對大小，與正確答案比較，誤差只有10%。

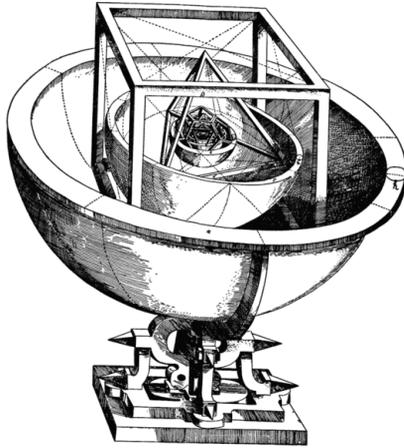


圖2-1 開普勒的神秘日心理論模型

13 天體神秘巧合的傳統可以追溯到上古希臘數學家畢達哥拉斯（Pythagoras，前582-前507）的學派。《宇宙奧秘》的拉丁書名是 *Mysterium Cosmographicum*，英譯名為 *Mystery of the Cosmos* (Tübingen, 1596)。

1601年，布拉赫突然去世。¹⁴ 開普勒雖然與他屢有爭拗，卻成功承襲了布拉赫的職位，以及布拉赫累積了40年、愛惜如命、不肯讓人看的行星觀測數據。

開普勒相信天體之間存有神秘的巧合。半科學或偽科學的猜想供應了靈感，讓他從新角度探求與觀測數據相容的科學理論。但他畢竟是探討真理的科學家，當他發現數據無法支持自己的「正多面體軌道」神秘理論時，他便只好改弦易轍了。

2. 橢圓軌道

斯須九重真龍出，一洗萬古凡馬空。

——唐·杜甫：《丹青引贈曹霸將軍》

經過許多次失敗的嘗試後，開普勒終於找出劃時代的橢圓軌道模型。¹⁵ 1609年，他出版了《新天文學》，發表了簡潔準確的行星繞日兩大定律，在一千多年來的數理太陽系理論中，首次將前人所用的好幾十個周轉圓一筆勾消。¹⁶ 但世人反應冷漠，顯然學術界仍未完全了解橢圓的數學。¹⁷ 十年後（1619年）開普勒發表第三定律，指出前人不知的各行星軌道間的關係，竟然大受歡迎。1627年，他更出版了空前準確的《魯道夫星曆表》，與自己的理論互為表裏。¹⁸ 至十七世紀中葉開始，橢圓軌道理論終於成為主流。

14 據說布拉赫在宴會裏強忍小便，結果中尿毒症去世。

15 開普勒留下的火星軌道計算草稿竟達一千多頁。

16 拉丁文原名很長：*Astronomia Nova*.....，英譯名*New Astronomy*.....。書中只討論火星的軌道，但後來開普勒也發表了其他肉眼行星的橢圓軌道。

17 處理複雜圖形的重要工具：用代數表達幾何的解析幾何學，要到1637年才正式由笛卡兒發明。

18 《魯道夫星曆表》（*Rudolphine Tables*），以神聖羅馬皇帝魯道夫二世命名。書中教導讀者使用開普勒的定律來推算行星位置。

3. 三大定律

三大定律如下：

第一定律：五大行星和地球都繞著太陽以橢圓軌道旋轉；太陽位在橢圓軌道兩個焦點之一（ F ）。（圖2-2a）

第二定律：在橢圓軌道上每顆行星（或地球）與太陽間的線段在同一時間段落內掃過同一面積。（圖2-2b）

第三定律：任何兩顆行星橢圓運轉的周期（ T_1, T_2 ）與相應的橢圓軌道的半主軸（ a_1, a_2 ）遵守下列方程式：

$$(T_1/T_2)^2=(a_1/a_2)^3。$$

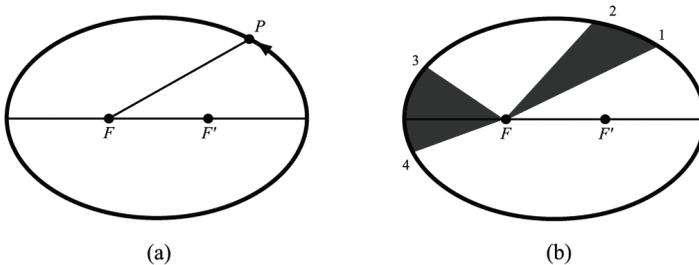


圖2-2 開普勒的橢圓軌道理論：（a）第一定律；（b）第二定律

開普勒的簡潔模型一舉取消了過往圓形軌道理論複雜的細節架構。他不單完全揚棄了周轉圓，更賦予「偏重點」和「均衡點」兩個古老名詞以嶄新而理性的含義。橢圓軌道有一對焦點，太陽位在其中之一（ F ），而不在軌道的正中，控制行星運轉速度的「新均衡點」也正是太陽所在。¹⁹

19 有趣的是，在橢圓軌道上的行星 P 不但遵守第二定律（ PF 每小時掃過的面積相等），而且另一焦點 F' 相當於托勒密的均衡點，線段 PF' 每小時也掃過約略相等的角度。

他的第三定律很可能來自他的神秘「天體音樂」概念，這定律雖然仍有改進的地方，²⁰ 但已指出軌道的周期，自然地決定了軌道（最長部分）的約略大小。

開普勒迫使整個早期科學界重估「真」和「美」的涵義：「真」的未必是「美」的。其實「美」的判斷帶有濃厚的主觀成分，而且有「時尚」之分。「圓」雖然比「橢圓」更為對稱，卻未必更「美」。後來接受開普勒理論的人可能也會認為橢圓軌道正是「美」的表現。

4. 坎坷的歲月

開普勒多年都在貧困、艱辛中度過。原來神聖羅馬帝國皇廷經常拖欠工資，而且他屢次成為宗教衝突的夾縫犧牲品。1612年，魯道夫二世遜位，接任的弟弟馬提亞（Matthias）不容新教徒留在首都布拉格，開普勒被迫遷到林茨（Linz），但他拒絕接受路德教會部分教條，結果竟被開除。1617年，開普勒的母親在德國新教區被誣告為女巫，開普勒竭力營救，在她入獄14個月後終獲釋放。開普勒發表第三定律時，「三十年戰爭」已經在布拉格爆發。1626年，他做了天主教傭軍統帥華倫斯坦²¹的星相師。開普勒於1630年過世，名義上仍是神聖羅馬帝國數學家，但始終拿不到皇帝積欠他的薪金。1632年，信奉新教的瑞典軍隊破壞了他的墳墓。開普勒結婚三次，前兩次妻子都先他而死，他許多兒女也在童年夭逝。

開普勒是一位學識廣闊的學者。他在1604年發現了一顆超新星。著作除天文學外，也包括光學、潮汐理論、應用數學和科學小說。²²

20 誤差其實不到1%，見「牛頓的《原理》」一節。

21 華倫斯坦（Albrecht W. E. von Wallenstein, 1583–1634），他在世時累建大功，後來與皇帝政見相違，被暗殺。

22 開普勒發明了最流行的天文望遠鏡，利用兩塊凸透鏡產生倒影。他的科學小說《夢》（拉丁名*Solium*，英譯名*The Dream*）在他死後（1634年）出版。

5. 「橢圓軌道」第谷理論

哥白尼的日心理論並沒有打倒地心論，取代托勒密理論和第谷理論的其實是開普勒的橢圓軌道理論。這革命性的創新由開普勒以日心論的形式出現。哥白尼和開普勒都相信太陽是靜止不動的，但都無法證明。

筆者曾在〈地心論面臨挑戰〉中指出，就大體理論而言，哥白尼理論與布拉赫理論所描述的其實都是同一物理模型，不同之處只是座標的選擇。開普勒日心理論簡明、精確，顯然比布拉赫理論優勝。但地心論信徒也大可以將座標原點改放在地球上，取得同樣準確的「橢圓軌道」第谷理論，免得受宗教人士誤解。

二百多年前，中國欽天監監正、耶穌會士戴進賢用這一完全合理且饒有意義的座標變換，來推算1730年7月15日（雍正八年六月初一）北京的日蝕，卻遭到後人的非議：

戴進賢……不得不採用開普勒的橢圓面積定律。但是這時教廷的反動權勢仍在肆虐，哥白尼的宇宙圖像被篡改成為太陽循橢圓軌道繞地球運轉，而地球靜居於橢圓的一個焦點上。這真是明目張膽顛倒是非了！²³

三、牛頓²⁴與力學

（一）萬有引力

為甚麼行星和地球依循開普勒的橢圓軌道運行？開普勒認為原因是磁力的吸引，但他無法證明。我們現在知道，吸引的來源不是

23 葉式輝：〈哥白尼〉，收入席澤宗主編：《世界著名科學家傳記：天文學家1》（北京：科學出版社，1990年），頁58。戴進賢（Ignatius Kogler, 1680–1746），德國天文學家，1717年來華。亦見倪彩霞：〈開普勒〉，收入同書，頁162。

24 牛頓（Sir Isaac Newton, 1642–1727），英國物理學家、數學家。

磁力，而是「反平方」（inverse-square）的萬有引力。兩個質點²⁵（ A, B ；距離= R ，對應的質量是 M_A 和 M_B ）間的相互引力是

$$F = GM_A M_B / R^2;$$

其中 G 是萬有引力常數。²⁶ 世人通常接受「從樹上跌落的蘋果打中牛頓天靈蓋」的傳說；原來萬有引力的發現者卻是牛頓的死對頭、以彈性定律見稱的胡克（1680年）。²⁷

（二）牛頓的《原理》

伽利略的一連串實驗，確定了「質量」在物體運動上的重要地位，建立了動力學。動力學與開普勒的太陽系理論是經典力學的兩大基石。1687年，牛頓出版巨著《原理》，終於把開普勒的三大定律化為經典力學「兩體問題」的推論。²⁸

「兩體問題」討論兩個質點在萬有引力定律和牛頓力學三大定律的作用下的動態。經典力學提出了「質量中心」（center of mass）的明確概念：假如 C 是質點 A 、 B 的質量中心，則線段 AC 的長度是

$$r = RM_B / (M_A + M_B)$$

「兩體問題」的解答是：

25 質點是只有質量和位置的理想物體。實際上太陽系的眾天體半徑當然都大於0，但這事實引起的作用通常極微，可以忽略。

26 以國際單位制表示： $G = 6.6742 \times 10^{-11} \text{m}^3 / \text{s}^2 \text{kg}$ 。

27 胡克（Robert Hooke, 1635–1703），英國多才物理學家。對他科學貢獻的新評價，見A. Chapman, “England’s Leonardo: Robert Hooke (1635–1703) and the Art of Experiment in Restoration England,” *Proceedings of the Royal Institution of Great Britain* 67 (1996), 239–275, 此文之“4. Astronomy and gravitation”。

28 拉丁書名：*Principia*。全名《自然哲學的數學原理》，拉丁文為*Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*。

1. 在萬有引力作用之下，每質點繞著質量中心 C 依循「二次曲線」軌道運行。「二次曲線」包括圓、橢圓和兩種一去不回的曲線：拋物線和雙曲線（兩臂之一）。這是開普勒第一定律的擴充。
2. 「角動量守恆」，在此不贅。開普勒第二定律原來正是「角動量守恆」的表現。
3. 如橢圓軌道的周期是 T ，半主軸是 a ，則 $T^2 = ka^3$ ， $k = 4\pi^2/G(M_A + M_B)$ 。這是開普勒第三定律的修正和推廣。²⁹

原來太陽與地球都同時繞著質量中心 C 運轉，「兩體問題」產生了兩條軌道！但因為太陽的質量遠大於地球，這質量中心距離太陽球心只有450公里。太陽環繞質量中心所運行的軌道因此也很小，整條軌道都深埋在太陽光球之內（光球半徑是70萬公里）。

太陽系其實是一個「多體運動」系統。多體運動雖然複雜，仍擁有質量中心；它的位置在任何時間，仍然可以計算出來。而且質量中心遵守慣性定律：它一旦開始運行，如無外力作用，便會一直運行下去。地球、太陽兩者的球心都有資格作為座標原點；這選擇絕不影響新原點的運動。它們都不是太陽系質量中心，雖然後者的確接近太陽的球心。太陽系中所有天體都繞質量中心運行，都不能說是靜止的；質量中心本身也受外力影響，也在運動。

自牛頓力學出現後，日心論與地心論之爭告一段落。1757年，開明飽學的教皇本尼迪克特十四世³⁰接受牛頓力學，取消對日心論的所有禁令。今天我們常用的座標原點相當於地心論和日心論。為便利起見，日心論的「心」一詞往往指涉「太陽系的質量中心」。

²⁹ 據開普勒原來的第三定律，太陽系所有行星軌道都採用相同的 k ，這只是約略正確，因為眾行星的質量雖然都遠小於太陽，但彼此並不相同。

³⁰ 本尼迪克特十四世，原名Prospero Lorenzo Lambertini (1675–1758)。

我們日常生活依然習慣採用地心論的看法。例如中國曆法談到的「黃道十二宮」，「黃道」其實是「地心論」者所見的太陽在天穹的路線。慣用的說法是：「每年8月21日，太陽在獅子宮」，³¹ 這是不折不扣的地心論說法。如採用日心論，我們理應改說：「每年8月21日，地球在（獅子座對面的）水瓶宮。」

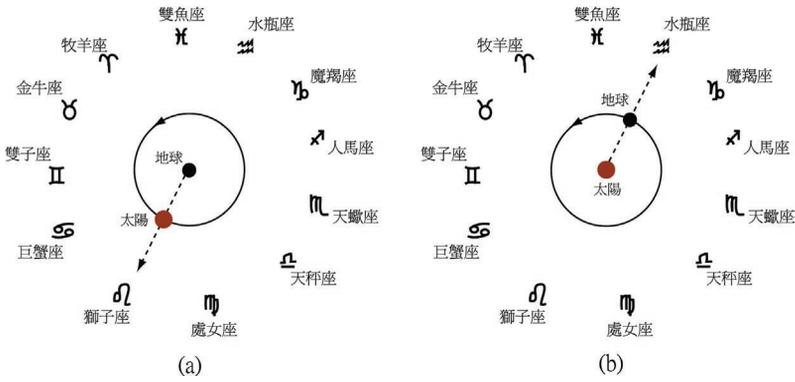


圖3-1：(a) 每年8月21日，太陽看似在獅子宮前。(b) 地球繞著太陽周轉，每年8月21日，運行到（獅子座對面的）水瓶宮。

更常見的地心論例子是簡單的一句：「太陽出來了。」

(三) 「五分鐘定理」

英國胚胎學家烏而樸說過，西歐中古時代，有一條「五分鐘定理」：竣工後五分鐘，假如新屋仍然屹立不倒，便可入住。³²

這所謂「定理」其實笑中有淚。在十二世紀，法國人發明了高聳入雲的哥德式教堂的建築。他們不惜動員整個地區的財力、人力，耗費幾百年的時間，表達與神溝通的熱忱。1225年，法國北部保維市開始

31 地球、太陽與獅子星座某一部分出現在同一條直線上。

32 L. Wolpert, *The Unnatural Nature of Science* (London: Faber and Faber, 1992), 34–35.

興建聖彼得大教堂，³³但在1284年，唱詩班的建築部分在完工8年後竟然塌毀，100年後，塌毀部分的修葺、強化工程才告完成。再過180年後（1564年），高達153公尺（505英尺）的尖塔開始興建，於1569年告成；但支柱似不勝負荷，終於在4年後的一天全塔突然坍塌，幸好沒有弄出人命。膽戰心寒的市民迫得中止所有大規模的營建工程。教堂迄今只完成了四分之一左右，它的設計本來是經典式、中有高塔的「長腳十字」，現在的建築根本沒有十字的長腳，更沒有高塔。

教堂坍塌的原因可以說是「青黃不接」，上兩個世紀的建築師傅已將經驗、心得隨著肉身埋入墳墓，而新科學仍要200年才能開始應付教堂建造的問題。³⁴但當初市民雄心萬丈，要興建全歐洲最高的教堂，老師傅即使能死而復生，投入工作，光憑經驗，仍未必能夠擔當得起「創新」的重任。後世經典力學定律的應用和對材料力學的認識，終於徹底廢除了這令人苦笑の定理。

四、伽利略的冤案

Much ado about nothing（無事生非）。

——莎士比亞（1564–1616）劇名

（一）伽利略

伽利略是偉大的實驗科學家。他的實驗打破了亞里士多德「物體墜地速度與重量成正比」的謬論，奠定了後來經典力學的基礎。他

33 La Cathédrale Saint-Pierre de Beauvais.

34 J. Heyman, "Why Beauvais Cathedral Collapsed," in *Transactions of the Newcomen Society* 40 (1967–68). 節本見〈<http://www.newcomen.com/excerpts/beauvais.htm>〉。

製造了第一部天文望遠鏡，觀察到金星的盈虧，斷定這是陽光從不同角度由金星反射到地球的結果，因此金星必定環繞太陽旋轉。伽利略因此揚棄了托勒密的地球中心周轉圓理論，全力支持哥白尼的太陽中心論。

伽利略與開普勒同為早期物理學的兩大柱石。開普勒在書信裏盛讚伽利略的天文觀察，但伽利略沒有接受開普勒的橢圓軌道理論，也忽略了布拉赫的第谷理論。他是否不知道這兩套理論同樣能夠輕易地解釋金星的盈虧呢？無論如何，伽利略的確是「太陽中心、圓形軌道論」的忠實信徒。

（二）《關於兩個世界系統的對話》

1616年，天主教異端裁判庭終於裁定哥白尼出版已73年的《天球旋轉論》為異端邪說。³⁵ 教會命令伽利略不許「抱有或維護地球運動、太陽靜止」³⁶ 的異端思想。但伽利略恃才傲物，而且後來（1623年）他的好朋友榮任教皇。³⁷ 他在1632年應教皇之請，出版了《關於兩個世界系統的對話》，³⁸ 得到異端裁判庭的正式批准和教皇的認可。這書全力支持哥白尼的日心論，同時譏評地心論。書中描述三個人想像的對話，其中一位亞里士多德派哲學家思普力求³⁹ 每次發言必露破綻，讓日心論者沙爾維亞提⁴⁰ 長驅直入，攻至體無完膚。有人（包括教皇）認為思普力求這笨蛋角色所影射的正是當今的教皇。伽利略化友為敵，從此失去了教廷裏最重要的靠山。

35 《天球旋轉論》在1758年正式解禁。

36 “Hold or defend the idea that the Earth moves and the Sun stands still at the center”.

37 烏爾班八世（Urban VIII, 1568–1644），原名Maffeo Barberini。

38 *Dialogue Concerning the Two Chief Systems of the World*.

39 思普力求（Simplicio）。

40 沙爾維亞提（Salviati）。

更令人不安的是，他在書中以自己的潮汐理論作為根據，而這理論竟然是**徹底錯誤**的。他宣稱潮汐每天一次，影響來自太陽。但實際上潮汐每天至少兩次，最大的影響來自接近地球的月亮。（一千多年前，塞琉古⁴¹ 早已講過潮汐〔主要〕由於月亮；早在1609年，開普勒也提出了正確的潮汐理論。⁴²）《關於兩個世界系統的對話》採用了與現實完全脫節的潮汐理論，更忽視了開普勒和布拉赫兩人更準確的太陽系理論，有失實驗科學家的體統，的確是伽利略「盛德之玷」。

（三）裁判與平反

1633年，異端裁判庭裁定，命令伽利略撤回「地球繞日」的異端思想；⁴³ 判他終身監禁之刑（後來改為軟禁）；列《關於兩個世界系統的對話》為禁書（後來更禁止他出版現有和將來的任何書籍）。

伽利略在1637年已瞎了右眼，翌年1月變成全盲。7月，他將總結一生力學研究的著作《關於兩門新科學的對話和數學的論證》⁴⁴ 成功偷運到荷蘭出版。⁴⁵ 他在1642年1月逝世。

1992年10月30日，教皇若望保祿二世宣稱對伽利略的裁判是由於人為的錯誤，當時也不該把他軟禁。⁴⁶ 教廷承認過去的錯失，雖不能使時光倒流，但是給伽利略還以自由，畢竟是明智之舉，但卻做得並不徹底。當年（1616年）的裁決，視哥白尼的太陽中心論為異端邪說，又何嘗不是錯誤呢？

41 塞琉古（Seleucus of Seleucia），古希臘哲學家，約在前190年出生於兩河流域，活躍在前150年左右。

42 P. Tyson, "His Big Mistake," <<http://www.pbs.org/wgbh/nova/galileo/mistake.html>> .

43 傳說他聆判後喃喃自語：「它仍在動！」筆者按，查無其事。

44 英譯名*Discourses and Mathematical Demonstrations Concerning the Two New Sciences*。

45 同年9月，英國名詩人米爾頓造訪。在1651年，米爾頓也變成全盲。

46 若望保祿二世（John Paul II, 1920–2005），原名Karol Józef Wojtyła。他也平反了布魯諾。

五、結論

筆者寫作本文的動機在矯正一些非專門寫作（甚至有些大學教材）主觀式、過度簡化，甚至錯誤的敘述。

前文已經指出，托勒密的地心論其實就是未成熟的「行星繞日，日繞地球」第谷理論，而後者與哥白尼的日心論在大體上不同之處，只在（動態）座標原點的選擇；在細節上兩項理論確有懸殊，但只關係到觀測的精確性和採用的應用數學技巧。

世人往往以為哥白尼的真理終於取得了勝利，其實這只是誤解。事實上，哥白尼理論從來未當過主流。在歷史上當真摧毀「地球是宇宙的不動中心」的自大社會心理的，是開普勒的橢圓軌道理論。而且利用座標變換的技術，任何「日心」理論可以有對應的「地心」，甚至「海王星中心」理論；這些理論都完全無法證明所採用的座標原點是靜止不動的。在牛頓力學建立之前，「中心」並沒有明確、單一的科學定義。開普勒的橢圓軌道也只提議太陽可能是太陽系的中心。我們知道星體質量和星際距離之後，方才能夠當真決定在「兩體運動」裏位置不變的一點。但這只是天體物理學的開始。

事實上，多數現代宇宙論學者都認為宇宙並沒有任何一點比其他地方更特殊。換句話說，一個人類問了幾千年的問題：「中心何在？」不單沒有答案，原來連問題本身都未必成立。我們現在知道，太陽系繞著銀河星系的中心旋轉，銀河星系是本星系群的一員；⁴⁷ 整個本星系群正在以每秒600公里的速度向著宇宙的一方運動。我們在宇宙間只看到相對運動，根本找不到可以證明為絕對靜止的任何一點。

47 本星系群（the local group of galaxies）包括銀河星系、仙女座大星系（M31）和三角座大星系（M33）。

當然，400年來學術界早已度過了對自大社會心理最關鍵性的一擊：靜止的唯一中心，存在與否，肯定不在地球。

參考書目

中文參考書目

1. 席澤宗主編，《世界著名科學家傳記：天文學家I》，北京：科學出版社，1990年。

外文參考書目

1. Evans, J. *The History and Practice of Ancient Astronomy*. New York: Oxford University Press, 1998.
2. Hall, A. R. *The Revolution in Science 1500–1750*. London: Longman, 1983.
3. Hoyle, F. *Astronomy and Cosmology: A Modern Course*. San Francisco: Freeman, 1975.
4. O'Connor, J. J., and Robertson, E. F. *The MacTutor History of Mathematics Archive*, 2005. <<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/index.html>> .

附錄

太陽系理論沿革簡表

約前330 亞里士多德提出晶體球殼、地球中心理論。

約前250 阿里斯塔克斯提出地球繞日說，接受地球自轉說。

- 140 托勒密的地球中心周轉圓理論融合眾說，流行了一千多年。
- 499 印度數學家亞里亞巴拉塔用詩篇形式宣稱地球與行星都以橢圓軌道繞日運行。
- 約1350 敘利亞天文學家沙替指出：托勒密的均衡點可以用加添的周轉圓取代。
- 1440 德國樞機主教庫沙宣稱地球繞著太陽旋轉。
- 1543 哥白尼出版《天球旋轉論》，在同年去世。
- 1588 第谷·布拉赫提出「行星繞日，日繞地球」的第谷理論。
- 1600 布魯諾被天主教會判為異端，處以燒刑。
- 1609 開普勒宣佈橢圓軌道第一、二定律，注意者少。
- 1616 天主教列《天球旋轉論》為禁書。
- 1619 開普勒宣佈橢圓軌道第三定律，大受歡迎。
- 1627 開普勒出版《魯道夫星曆表》。
- 1632 伽利略出版《關於兩個世界系統的對話》，鼓吹哥白尼理論，忽略了第谷和開普勒更準確的理論。
- 1633 天主教異端裁判庭判伽利略終身監禁，後改在家軟禁。
- 1638 伽利略變成全盲；著作《關於兩門新科學的對話和數學的論證》，總結一生力學研究，在荷蘭出版。
- 1642 伽利略去世。
- 1687 牛頓出版《原理》，用力學推論出（修正的）開普勒理論。
- 1730 中國欽天監監正、耶穌會士戴進賢採用「橢圓軌道」第谷理論推算當日日蝕。
- 1758 天主教解禁一切鼓吹日心論的書籍。
- 1992 教皇若望保祿二世為伽利略平反。

