



地球和行星的起源

(苏联)列文

科学普及出版社



目 次

緒 言	1
1. 太陽系的結構	3
2. 行星演化学的發展	10
3. 施密特的行星形成學說	21
4. 太陽附近氣體塵云的起源問題	32
5. 行星的組成	37
6. 小行星、隕星、彗星	46
7. 地球的內部結構	52
8. 地球的年齡	61
結束語	66
參考文獻	67

緒 言

天体演化学是一門研究天体的起源和演化的科学，它在自然科学上有着重大的意义。

地球是我們生活在它的表面上的天体，它的起源和演化問題自古以来就特別引起人类的注意。因为这一問題是地球科学——地球物理学、地球化学、地質学——的一个基本問題，所以它有巨大的实际意义。对地球的起源沒有一个正确的概念，就不能明了地球的演化，从而也就無从正确地理解地球今日的結構和現在地球內部正在演变的各种过程。对建立正确的唯物主义宇宙观來說，天体演化学的意义更特別重大。

地球不是一个孤立的天体，它是組成太陽系的一个行星。行星系在結構上有着許多規律性，它們指出，行星共同起源于統一的物質的演化过程中。这些規律性是解决地球和其他行星起源問題的指針。

現在我們要研究的不只是一个地球，而是整个行星系的起源，因而研究者就要接触到大量的各种实际資料，这自然会使研究工作复杂化。不过，也只有这样，才能确定地球和行星的真实演化途徑。

研究者在动手工作时，首先應該整理一下有关地球、行星、小行星、彗星、隕石等的結構以及整个太陽系結構的大量实际資料，應該选出其中主要的，然后用分析方法大体确定現今形成地球和太陽系其他天体的物質的原始状态。这样，就有可能分析这种物質的演化过程，再將分析的结果和今日太陽系还没有被研究的其他特性加以比較，就有可能确定这些物質的过去状

态和今后的演化情况。研究者先审阅全部大量的实际资料，经常地从分析太阳系天体的现有特征，从分析关于它们起源过程的各种假设，进而分析假设的物质原始状态的演化过程，抛掉错误的假设，确定正确的推论，这样就能进一步去建立地球和行星的起源和演化的正确理论。

研究者应该用严格的批判态度去研究实际资料。直接从观测和测量中只能得到有限的有关地球和太阳系其他天体结构的知识。对观测资料的推敲和综合，能使我们获得很多知识，而在这个过程中除了运用无可置疑的科学定律和原理以外，也常常采用一些补充的假设，或在无形中运用一些有关地球和太阳系其他天体形成过程的假设。可是过了几十年，这些论据的假定性质往往被忘记，于是人们就认为这些是确定不移的了。例如，几年以前曾认为地球铁质核心的存在是个不容置疑的事实，其实这也不过是与地球原始状态为“炽热液态”的假设有密切联系的假设罢了。

如果我们希望从事于行星系演化学的研究者去说明所有的有关地球、行星和太阳系其他天体的实际资料，这是不对的。因为在这些资料中，有一些同该一天体的演化特征如何、或甚至同这天体某一部分的演化特征如何，有连带关系。不应该为了去解释某些重大的事实，而去建立人为的假设，或是引用尚未被科学所发现的自然规律。研究的结果若与基本事实矛盾就证明了研究者在研究过程中没有遵循正确的途径，只是局限于去解释某些引起他注意的个别资料。因此，他并没有说明演化的真正途径，虽然他所指出的演化过程也许有可能，但是由于矛盾事实的存在，在目前的情况下这个演化过程还没有发生。

用统一的观点去解释太阳系结构的基本特征，去说明地球和太阳系其他天体的结构和演化，就是致力于行星演化学的学

者們所力求達到的目的。蘇聯科學正勝利地向這一目的前進。近幾年來，施密特院士^①和他所領導的科學人員的研究工作奠定了地球和行星的起源學說的基石。這本小冊子就是要敘述這個學說以及和它有密切聯繫的地球的內部結構和演化問題。

1. 太陽系的結構

太陽系由一個中心天體——太陽——和圍繞它迴轉的許多衛星組成。所有這些太陽的衛星和太陽本身比較起來都是極小的，不過用我們地球尺度來衡量，它們之中也有十分龐大的。太陽的最龐大的衛星是包括我們地球在內的九個行星。此外，幾千個小行星和彗星，還有大群的微小物體和質點都是太陽的衛星。這些質點在太陽系中運行，有時會和地球相碰；它們以極大的速度飛進地球的大氣，形成瞬間發光的流星。有時大塊的流星體沒有能在空氣中燒完，它們的殘骸落在地球表面上，成為隕星。

行星的繞日運動有許多特征。

首先，行星的極近於圓形軌道是扁率很小的橢圓（圖1）。但是，我們在恒星世

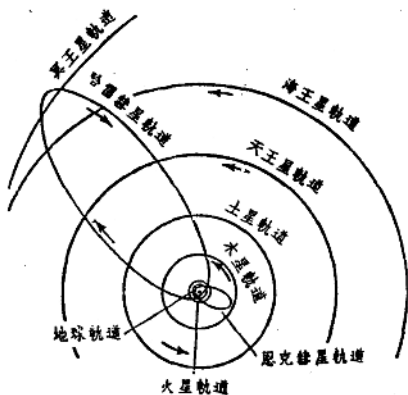


圖1 太陽系示意圖（圖中沒有畫出水星和金星的軌道）

① 施密特院士於1856年9月7日因病逝世。——譯者

界中，或就在太陽系內，却會見到許多沿極扁長軌道運行的天體（例如彗星）。

第二，各行星的繞日公轉軌道彼此傾斜得很少，所以行星系是個十分扁平的組織（圖 2）。



圖 2 太陽系在空間中

第三，所有的行星和小行星的繞日運動，毫無例外地都是沿着同一個方向。假如我們上升到地球北極的高空去看一下太陽系，就會見到，行星的公轉是反時針方向的。行星的自轉也是朝這個方向（天王星除外^①）；連太陽的自轉也是反時針方向的。此外，大多數行星的衛星的繞行星公轉也同樣是反時針方

^① 天王星好像是在“側臥着”自轉，它的自轉軸和軌道面的傾角只有 8° ，所以天王星的北極和軌道面的垂線之間的交角是 98° 。因為這交角大於 90° ，一般都認為天王星的自轉是逆行的。

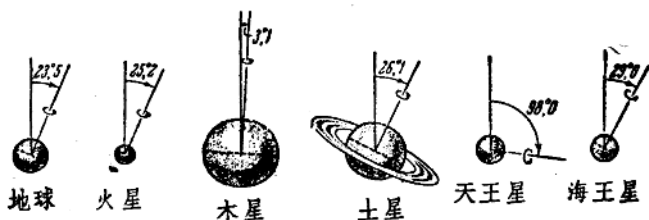


圖 3 行星的自轉軸和各自的軌道面的交角

向的。

這些運動特征說明了行星系並不是一些不同起源的天體的偶然聚集，而是統一的、在起源上有規律性的行星族。

行星的物理特征和它們在太陽系中地位之間的聯系也同樣證明了上述的看法。

離太陽最近的四個行星——水星、金星、地球和火星——比較小（其中最大的是地球）；它們都有相當大的密度，是水密度的4—5倍。離太陽遠的木星、土星、天王星和海王星比類地行星既重得多，又大得多；但它们的平均密度小，近於水的密度（土星的密度甚至比水的還小）。

大行星（指木星、土星、天王星和海王星——譯注）內部的物質所受的壓縮比類地行星內部的物質大得多，但是它們的密度還是比類地行星的密度小。因而大行星是由另一種較輕的物質組成的。

在大行星之外還有一個不大的行星——冥王星，它是1930年才被發現的。因為冥王星非常遙遠，它的大小和質量都還知道得不够精確。

表1載有行星及其軌道的主要數據。

從表1中，從圖1上，都可以看出，二相鄰軌道之間的距

表 1

行星和行星軌道的主要數據

行星名稱	與太陽的 平均距離 (以天文 單位*表 示)	軌道偏 心 率	軌道和 主平面 的傾角	行 星 質 量		行星半徑 (地球半 徑=1)	密 度 (以克/厘 米 ³ 表示)	自 轉 周 期	衛星數目
				太陽質量 =1	地球質量 =1				
水 星	0.39	0.205	6° .3	$\frac{1}{6120000}$	0.0545	0.38	5.5	88日	0
金 星	0.72	0.007	2° .2	$\frac{1}{408600}$	0.816	0.96	5.1	20日 (?)	0
地 球	1.00	0.017	1° .6	$\frac{1}{333420}$	1.000	1.000	5.516	23時56分4秒	1
火 星	1.52	0.093	1° .7	$\frac{1}{3110000}$	0.107	0.53	3.9	24時37分23秒	2
木 星	5.20	0.048	0° .3	$\frac{1}{1047.4}$	318.35	10.95	1.34	從 9 時50分 到 9 時56分	12
土 星	9.54	0.056	0° .9	$\frac{1}{3499}$	95.33	9.14	0.70	從 10 時14分 到 10 時58分	9
天王星	19.19	0.047	1° .0	$\frac{1}{22870}$	14.58	3.9	1.4	10.7時	5
海王星	30.07	0.009	0° .8	$\frac{1}{19310}$	17.26	3.5	2.2	15.8時	2
冥王星	39.52	0.247	15° .7	?	?	?	?	?	0

* 天文單位是地球和太陽之間的平均距離，等於 1,495,000,000 公里。

离是随着离太陽距离的增大而增加的。这个事实也是行星运动的一个規律。

大多数行星的軌道偏心率(焦距和半長徑之比)都小于0.1, 只有行星系內外邊緣处的两个行星——水星和冥王星——的偏心率相当大。

表中还載有行星軌道的傾斜度, 不过这不是像通常所謂的和地球軌道面之比, 而是行星軌道面和整个行星系主平面之比。这主平面說明了形成行星系的弥漫物質云的中央平面(赤道面)的形态特征。关于这形成行星系的弥漫物質云, 我們下面要談到。大多数行星軌道的傾角是不大的; 其中最大的仍是行星系邊緣的两个行星——水星和冥王星。

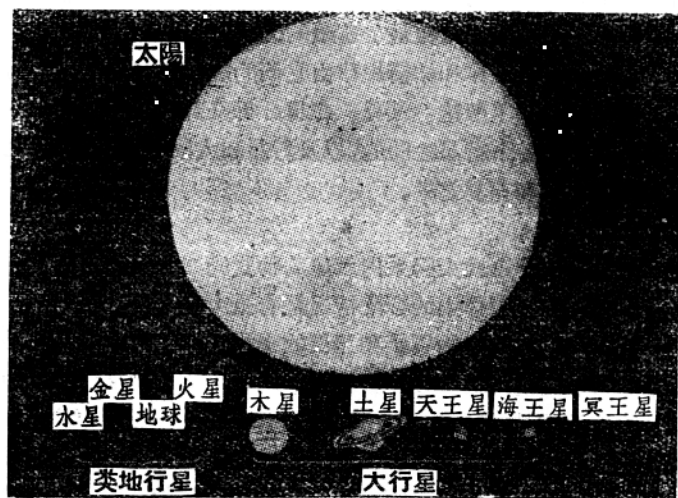


圖 4 太陽和行星的大小比較圖

我們前面已經說过, 行星的大小和質量比太陽的要小得多

(見圖 4 和表 1)。所有行星的總質量只有太陽質量的 $1/745$ ，這就是說太陽占太陽系中所有已知天體的質量的 99.87% 。我們所以說是所有的天體，是因為小行星和彗星的質量十分小，甚至所有小行星和彗星的總質量還比地球質量小得多。

類地行星和大行星不只在大小和質量上有所區別，就在自轉速度和衛星數量上也不同。

假如我們除開水星和金星的自轉情況不談(水星和金星的自轉慢可能是由於它們離太陽的距離近的緣故)，那麼可以看出大行星——木星和土星的自轉比體積小於它們的地球和火星快一倍。

類地行星或是完全沒有衛星，或是只有一兩個衛星；然而，木星有十二個衛星，土星除了有九個大衛星，還有無數微小的衛星，肉眼看上去像是個連續的光環。

行星的運動規律和結構規律由它們的起源過程所決定。為了正確地認識和了解這一過程，必須分析全部的規律，用統一的觀點來解釋各個行星之間的、以及行星和太陽系其他天體之間的相同之點和相異之處。

* * *

為了推論這形成太陽系內天體的物質的起源問題，研究一下動量矩在各個天體上的分配情況是有重大意義的。

在力學中，物體的質量和速度的乘積 (mv) 稱為動量。動量矩是物體圍繞某一中心作旋轉運動的一個重要特徵；動量矩就是物體的質量、速度和離旋轉中心的距離的乘積 (mvR)。如果這個運動不是正圓的，那麼就出現垂直於旋轉中心方向的分速度。若我們所指是繞自轉軸旋轉的物體，那就是說，在公轉軌道上各點的速度和距軸的距離是不同的。在上面所談的情況下，我們設想將旋轉物體分解為許多小的體積單元，先計算每

一單元的動量矩，然後將結果總計起來。

動量守恆定律對於一個不受外力影響、只在內力作用下的系統而言是正確的。動量守恆定律指出總動量矩永為常數，它只能在系統內的各個分立的部分之間重新分配。在上述系統內，總動量矩和總機械能（動能和位能）是有區別的。一個不受外力影響的系統的機械能是可以改變的；例如，由於摩擦，機械能可以轉變為熱能。

行星系在整個存在期間都不曾受到足以使行星系動量矩增加的外界影響。所以，行星一直具有在行星形成過程中的動量矩；該動量矩是由形成行星的物質轉給行星的。

我們前面已經提過，行星的運動規律、行星的物理性質與行星和太陽距離之間的關係都說明了行星不是在被太陽俘獲之前已具有行星的形態，而是在太陽附近與太陽共同逐漸成形的。行星是由圍繞着太陽公轉着的物質形成的。

現在我們來研究一下與繞太陽的軌道運動有關係的行星動量矩。

大家都知道，離太陽越遠，行星的軌道運動就越慢。速度的減小和 $1/\sqrt{R}$ 成比例，即距離 (R) 越大，速度越小。單位質量的動量矩（稱為比矩）和軌道半徑的平方根成比例（ $R:\sqrt{R}= \sqrt{R}$ ）。半長徑為 a 和偏心率為 e 的橢圓軌道的比動量矩和 $\sqrt{a(1-e^2)}$ 值成正比。

表2載有行星軌道運動的全動量矩和比動量矩，其中地球的全動量矩和比動量矩都取為1。

因為我們不知道太陽內層的自轉速度，因此就不能準確地計算出太陽的全動量矩。以我們所採用的單位來表示，太陽的全動量矩不超過20。

從太陽和行星的動量矩的比較中可以看出，雖然太陽占太

表 2

行星的全动量矩和比动量矩

行 星	全 动 量 矩	比 动 量 矩
水 星	0.03	0.61
金 星	0.69	0.85
地 球	1.0	1.00
火 星	0.13	1.23
木 星	725	2.28
土 星	294	3.08
天王星	64	4.38
海王星	95	5.48
冥王星	~1	6.09
	1181	

陽系总質量的絕大部分，可是太陽的自轉所产生的动量矩不超过太陽系总动量矩的 2%，其余的 98—99% 都集中在行星的公轉运动上。

比較一下行星和太陽的比矩，还可以看出更大的差別：行星的平均比动量矩(已計入行星的質量)等于 2.63 (取地球的比动量矩为 1)。用太陽的質量(以地球質量为單位)去除太陽的全动量矩就可以計算出平均比矩。太陽的平均比矩最大只有 $\frac{20}{333000} = \frac{1}{16650}$ ，即最多只有行星平均比矩的 1/45000。

19 世紀 60 年代中，科学家們由于分析 批判拉普拉斯假說而注意到太陽和行星的动量矩分布問題。这对于拉普拉斯假說和其他許多后起的天体演化假說成了重大的障碍。

2. 行星演化学的發展

18 世紀中产生了科学的天体演化学。18 世紀中叶是自然科学發展中一个重要时期，当时那些認為自然是不变的陈腐看

法开始为新的、認為是不断的演化和連續發展的觀點所代替。那时天才的俄罗斯学者罗蒙諾索夫写道：“我們應該牢牢地記住，在地球上所見的有生命体和整个世界并不是一开始就創造成現在这个样子，而是發生过巨大的变化的。”

天文学是一門首先开始摧毀不正确的、僵死了的宇宙觀的科学。在18世紀末期，天文学中开始有了演化的观念。我們應該將这个归功于拉普拉斯，他于1796年提出了太陽和行星从龐大的气体星云中形成的概念。

后来我們才知道，早在1755年，也就是比拉普拉斯假說的提出还早40年，德国哲学家康德就写了一本小册子，他在書中勇敢地宣布：“給我物質，我將給你創造出宇宙。”康德在这本書中探討了宇宙演化問題，所有天体的起源規律問題，并提出了太陽系是由弥漫物質形成的假說。

康德的書是匿名出版的(沒有标出作者的姓名)，因而長期以来沒有被科学界人士所注意，直到19世紀才为人们發覺。康德和拉普拉斯的假說有着巨大的历史意义；这两个假說發展了宇宙物質的演化觀念，認為宇宙的演化是在天然素有的規律基础上进行，用不着神力的干涉。

*

*

*

康德和拉普拉斯都希望从太陽系結構的規律中来确定地球和行星的形成和演化的过程。

牛頓第一个注意到行星的运动規律。他發現了力学基本定律，發現了支配行星繞日运动的万有引力定律，并得出結論：行星系的結構不可能是各种情况偶合的結果。然而，牛頓是个基督教徒，他沒有研究这种导致形成太陽系物質演化的自然过程在行星系結構方面的結果，却將这个看作是上帝創造的表現。

牛頓在他的名著“自然哲学之数学原理”中写道：“六大行

星^①沿着以太陽为中心的近似于圓形的軌道、沿着同一的方向、在几乎是同一个平面上公轉。有十个圍繞着地球、木星和土星、沿圓形軌道在各行星的几乎同一平面上运行。这种規律性的运动在最初并没有力学因素。因为彗星就是沿着扁長的軌道运动，在天空各个方向都有的。由于这种方式的运动，彗星就以高速輕而易举地通过了行星的軌道。彗星在远日点^②处的运动是較慢的，逗留時間也較長。在远日点处，彗星彼此的距离極為遙远，彼此的引力十分微小。太陽、行星和彗星的如此美妙的接合，正是威力强大、深奥莫测的主宰的意圖和支配。”

1745年，法国自然科学家彪芳提出一个假說：地球和其他行星是巨大彗星和太陽碰撞所抛出的太陽物質的凝聚物所形成的^③。彪芳用自然現象代替了上帝的“原动力”，因此，他的假說在这方面是有进步意义的。不过在事实上，他的太陽系起源的解釋是不对的。誠如拉普拉斯所指出的那样，抛出的物質凝塊應該有扁長的橢圓軌道，應該返落向太陽。假如抛出的物質凝塊因为相互吸引而改变了軌道，并不再落回太陽上，那么这种物質凝塊也应该沿着和现实的圓形軌道不相似的扁長橢圓軌道运行。虽然行星的运动規律已經引起科学家的注意，可是彪芳的假說并没有考虑到这点，因而，尽管这假說有着先进性，但和当时的科学水平并不相适应。

1796年，著名的法国天文学家、数学家拉普拉斯出版了一本通俗天文書籍——“宇宙系統論”。在書后的注釋中，他叙述

① 在牛頓时代，天王星、海王星、冥王星还没有發現；当时也只知道有十个衛星：地球有一个，木星有四个，土星有五个。

② 远日点是軌道上离太陽最远的一点。

③ 当时都認為彗星是龐大的天体，实际上，彗核是非常小的，而那巨大、發光的彗首和彗尾是極稀薄的气体。

了他这个和康德假說有許多相似之处的太陽系起源假說。拉普拉斯假說迅速地得到了公認，并在一个半世紀之內一直享有盛名。所以能够这样，正因为这个假說極其簡單明了地解釋了我們前面已經談过的那些行星軌道运动的特征。

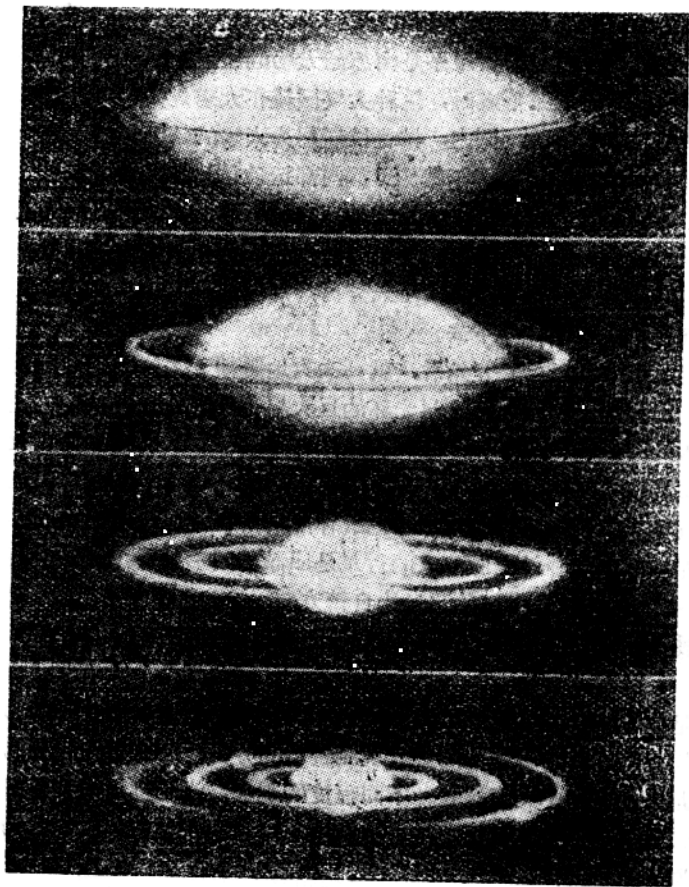
拉普拉斯認為行星系是由原始太陽的熾熱、稀薄的大氣形成的，當行星系形成時，這種大氣圍繞在太陽周圍，充斥在整個現在太陽系的範圍內。拉普拉斯認為太陽的這種星云氣態大氣像固體一樣地旋轉，就是說，內部運動得比外部快。云狀氣體逐漸冷卻，收縮。收縮的結果，它的旋轉速度加快（合於動量矩守恒定律）。最後，在赤道方向，離心力和引力均衡，處在星云赤道帶的物質開始和星云分離，並遺留在原處，而其餘的氣態物質繼續收縮下去。

這個過程一經開始後，就一次次地繼續下去，結果在星云的赤道面上形成類似土星光環的巨大扁平的氣體雲層。在這龐大的圓盤上呈現了一條條的間隙，間隙逐漸擴大，氣體物質就集聚在分立的窄狹的氣環上。氣環不是完全勻稱一致的，因此氣環上的物質集聚成為熾熱的氣體凝塊，再逐漸冷卻而變成行星。按照這種過程而形成的行星是應該沿圓形軌道運行，沿同一的方向、就是沿原始星云的自轉方向運行；並且所有的行星軌道都在同一平面，就是在原始星云的赤道面上。

雖然拉普拉斯不僅是個天文學家，同時又是個數學家，可是他的假說却是僅以敘述形式提出的。他所依據的是行星運動規律的分析和赫式爾的星云觀測資料的分析；赫式爾所觀測的星云中有向中央亮核各種不同程度的凝聚，當時都以為這種星云就是再形成的恆星。拉普拉斯設想這種星云和他的假說中的原始星云類似。

上世紀中葉，法國數學家賈煦所完成的數學研究指出了，

拉普拉斯的星云自轉得越来越快，在离心力的作用下，星云变扁了，最后成为扁豆形。从这种扁豆形星云的边缘，应该分离出物质来。



■ 5 拉普拉斯假說中的行星形成圖

如果設想將行星物質分布在巨大的氣體圓盤上，那麼氣體圓盤的密度就小到無法理解氣體集聚成為更稠密的气環的原因了。為了避免這一難點，駱煦指出可能有一種不連續的演化過程：從星雲中分離出的不是連續的（或是幾乎連續的）星雲薄層，而是分立的窄狹的星雲環。所有的拉普拉斯假說的太陽系形成圖都已加上了駱煦的修訂（圖 5）。



圖 6 拉普拉斯假說中行星自轉的起源：
左——順旋 右——逆旋

拉普拉斯認為，由於氣體環的內部摩擦力大，所以它像固體一樣地旋轉，就是說氣體環的全部質點的運動都有同樣的角速度。在這種旋轉情況下，氣體環的外部比內部運動得快（圖 6 左），因此當氣體環的物質集聚成一個氣體凝塊——未來的行星——時，這個氣體凝塊的自轉方向就和它繞太陽公轉的方向一致（順向）。在氣體凝塊冷卻和收縮的同時，產生了自轉的速度；在某種情況下，又從未來的行星中分離出環狀物，而形成了衛星。

在 1796 年拉普拉斯發表他的假說的當時，只知道有順向自轉的衛星。但是到了 1797 年就發現了天王星的衛星的自轉平面幾乎和天王星的軌道垂直。1847 年，發現了海王星的一個逆行的衛星，在以後半個世紀中，又發現木星和土星都有逆