



太阳系是由太阳、行星及其卫星、小行星、彗星及行星际物质组成的天体系统，各天体都绕太阳系质心转动。太阳的质量占太阳系总质量的 99.8% 以上，自然成为太阳系的中心天体，而常把行星等天体看做是在太阳引力作用下绕太阳公转。行星及其卫星是太阳系的子系统，它们除绕本系统质心转动外，其质心同时绕太阳公转；由于行星的质量比其卫星大得多，而常看作卫星绕行星转动。

在各行星-卫星系中，地-月系和冥王星-冥卫系与众不同，其特殊性表现在卫星与行星的质量比和角动量比，是其余行星-卫星系的上百倍。

就物理性质而言，太阳显著地不同于行星，它是有内部热核反应能源的恒星类型天体，而行星和卫星等没有热核反应。行星和卫星在物理上没有实质性差别，实际上，大的卫星(木卫三、土卫六等)在大小和质量方面比冥王星大，乃至可与水星比拟。因此，可以把地月系和冥-冥卫系都看作双行星。

### 地 月 系

地月系跟人类生活有密切关系。月球质量为  $7.350 \times 10^{22}$  公斤，是地球质量 ( $5.975 \times 10^{24}$  公斤) 的 1/81.3，这比其他行星-卫星系(除冥-冥卫系外)的质量比约大 2 个量级。月球和地球的自转角动量以克·厘米<sup>2</sup>/秒表示，分别为  $2.364 \times 10^{46}$  和  $5.660 \times 10^{40}$ ，绕地月系质心转动的角动量分别为  $2.786 \times 10^{40}$  和  $3.427 \times 10^{39}$ ，总角动量比为 4.64，也比其他行星-卫星系(除冥-冥卫系外)的要大 2 个量级以上。

月球在地球引力场中所作的椭圆轨道运动，因受太阳和其他行星的引力摄动而变得十分复杂，产生上万项运动差。这些摄动包括由于地球和月球都不是均匀的正圆球体而引起的形状摄动；太阳绕太阳系质心运动并非理想椭圆而产生的影响等。月球轨道半长径为 384401 千米；偏心率平均值为 0.0549 (变化于 1/15—1/23 之间)；轨道面(白道面)与地球公转轨道面(黄道面)交角为  $5^{\circ}9'$  (变化于  $4^{\circ}57'$ — $5^{\circ}19'$  之间)，白道面与地球赤道面交角变化于  $18^{\circ}18'$ — $28^{\circ}36'$  之间。月球轨道的近地点

与远地点连线一拱线不断向东移，周期为 8.85 年。白道面与黄道面的交线西退，周期为 18.6 年。因此，月球绕地球转动的周期因选用的基准点不同而有 5 种：

(1) 恒星月，以恒星为基准的转动周期，平均值为 27.32166 日(平太阳日)；(2) 朔望月，以太阳为基准的月相变化周期，平均值为 29.53059 日；(3) 近点月，月球连续两次过近地点的周期，平均值为 27.55455 日；(4) 交点月，以轨道升交点(月球从南向北过黄道面的点)为基准的周期，平均值为 27.21222 日；(5) 回归月或分点月，以春分点为基准的周期，平均值为 27.32158 日。不同的周期分别应用于不同场合，例如，农历的编算应用朔望月，日、月食推算应用朔望月和交点月，而潮汐及地震等的发生周期与近点月关系密切。

潮汐作用对地月系演化有重要影响。由于地心和地表到月球(或太阳)的距离不同，它们受到的引力矢量差成为引潮力，结果使地表海水发生周期涨落，形成潮汐。此外，也引起大气潮和固体潮。引潮力与引潮体到地心距离的立方成反比，与引潮体质量及地球半径成正比。对地球而言，月球的引潮力是太阳的 2.2 倍，对地球的影响更大。

由于地球自转角速度比月球轨道运动角速度大，以及地球物质的粘滞性，潮汐隆起趋向超前于月球运动，月球对地球两侧隆起的附加力矩作用与地球自转方向相反，使地球自转减慢，导致地球自转周期(日长)

每百年增加 0.0016 秒。初看起来这一数值不大，但长期累积下来就颇可观。例如，从古珊瑚化石生长纹研究得知，在 37000 万年前，每年约有 400 天，即当时日长约为现在的 9/10。由于地月系的总角动量守恒，地球自转角动量的减少导致月球轨道运动角动量增加，从而月球逐渐远离地球。同样地，地球对月球有潮汐作用，结果导致月球自转周期变为等于它绕地球转动的周期，因而月球总是以一侧对向地球。

地球科学的很多重大问题，如：海洋起源、大气起源、乃至生命起源等，都必须追溯到地球的起源和早期演化才能解决。然而，地球表层的 90% 是近 6 亿年形成的，最古老岩石也只有 38 亿多年，由于地球经历了长期的严重演变，其早期遗迹已丧失殆尽。正是由于地月系中地球与月球的亲缘关系，可以从演变程度较小的月球找到地球早期的某些线索。

地月系的起源与演化是多年来着重研究的问题，但起源问题仍未很好解决。已提出多种月球起源假说，大致分为三类：(1) 分裂说，认为月球是从地球外部分裂出去的；(2) 俘获说，认为月球原是绕太阳公转的，走近地球时被俘获为卫星；(3) 双星吸积说，认为由一个弥漫物质云聚集形成地球和月球。每种假说都能解释一些观测事实，但也遇到困难。

近年的新假说兼容较多的观测事实，其中较好的是碰撞说，认为：太阳原始星云物质先形成大大小小

的固体星子,再聚集形成行星;地球形成的晚期,受到一个质量约 0.14 地球质量的大星子以较低速掠撞;这时的地球与该星子已分异为金属核和硅酸盐幔;碰撞导致该星子瓦解,其金属核被地球吸积,其幔物质聚集成月球。这一假说能够解释地月系的特殊角动量比、轨道特征及其他性质,例如,月球由该星子的幔物质形成,其平均密度 3.34 克/厘米<sup>3</sup>就比地球的 5.52 克/厘米<sup>3</sup>要小;碰撞事件导致瓦解物质形成的月球缺乏挥发元素(钾、铅、铷等)、富含难熔元素(铝、钙、钛、铀等),从而说明了月球与地球的物质成分差别。这一假说还需在更多资料基础上加以完善。

从月球资料的分析与理论研究,月球演化史的轮廓比较清楚了。月球与地球大致同时期(距今约 45.7 亿年前)形成之后,最初至少是外部熔融的,很快分异为月壳、月幔(或许还有较小的月核),大约 1 亿年内月球外部冷凝为固态月壳,由于离地球近,受地球的引潮作用应力而在月表上产生格子构造体系。距今 43 到 39 亿年时期,仍有较大星子陨击月表,产生很大的多环陨击盆地(月海)及陨击坑(月坑)。距今 39 到 31 亿年时期,来自 150—450 千米深度的部分熔融玄武岩浆填充月海盆地,导致那里成为重力异常区(又称作质量瘤)。某些月海区的火成活动延续到 25 亿年前。陨击和火成活动是月球地质的两种主要过程。由于月球岩石圈变厚,距今 30 亿年以来火成活动已停止,仅偶有陨击产生有辐射纹的年轻月坑及其周围的环形山,以及太阳风粒子和微流星体直接轰击月表而产生剥蚀作用。由于月球引力场小而不能保留大气,而且月球上没有水,那里成为昼夜温差 100 度以上的干燥荒芜世界,因潮汐应力或月球变冷收缩而发生一些月震。地球早期可能也经历了类似于月球的演化,但由于地球质量大以及物质成分不同而导致中晚期的严重演化,尤其是地幔对流、洋底扩张及板块构造。

### 冥王星-冥卫系

冥王星离太阳的平均距离(即轨道半长径  $a=39.5$  天文单位)比海王星 ( $a=30.1$  天文单位)远,轨道的偏心率 ( $e=0.247$ ) 比海王星 ( $e=0.0096$ ) 大,在过近日点前后实际上比海王星更近太阳,从 1979 到 1999 年就是如此。但应指出,由于冥王星与海王星的轨道面不同,它们好像在立交桥上各走自己的路一样,不会相撞,它们最接近时的距离也超过 2.6 天文单位。

自 1930 年发现冥王星以来,由于遥远与观测困难,长期以来对它了解甚少,至今还没有探测器去探测冥王星,主要仍靠地面望远镜观测它。近些年来,取得了一些新结果:冥王星的半径为  $1150 \pm 7$  千米;冥卫半径为  $593 \pm 11$  千米,绕冥王星转动周期为 6.387245 日,轨道半长径为  $19640 \pm 320$  千米,偏心率几乎为 0。利用冥卫的绕转周期、冥王星绕太阳公转周期(90800

日)及太阳质量,由开普勒第三定律算出冥王星和冥卫的质量总和为  $1.47 \times 10^{22}$  公斤,约为地球质量的 1/400,若两者的平均密度相同,则冥卫与冥王星的质量比为 1/7.3,为所有行星-卫星系中最大的。它们相互间潮汐作用影响很大,结果导致冥王星和冥卫的自转周期都等于冥卫的绕转周期,很可能还导致冥王星和冥卫成为沿它们连线方向拉长的扁球体。冥卫与冥王星的角度动量比为 47.32,这是行星-卫星系中最大的。

冥王星和冥卫的平均密度约 2.03 克/厘米<sup>3</sup>。这意味着它们的物质成分既不同于主要是岩石物质组成的类地行星,也不同于外行星的冰卫星。根据光谱分析,冥王星光谱有甲烷吸收带,而冥卫光谱缺乏特征,这说明冥王星表面有甲烷霜,而冥卫表面覆盖 H<sub>2</sub>O 霜。冥王星内部可能有岩石核,其外是 H<sub>2</sub>O 冰幔,表层是甲烷冰,可能还有 CO 冰等;冥卫内部可能也有岩核和 H<sub>2</sub>O 冰幔,或者完全是岩冰混合体。冥王星与冥卫可能有相似的成分,而差别归因于冥卫引力场弱,易挥发的甲烷已逃逸到行星际空间。从冥王星掩恒星的亮度变化曲线的分析,表明它有大气,但很稀疏,大气主要成分是甲烷,可能还有氢及其他挥发气体,表面气压约几微巴;近表面有雾霾层;表面温度不到 60K,大气上层温度较高,可达 100K,其大气随它远离太阳而减少。由于冥王星引力场弱,其表面冰蒸发到大气中,又逃逸到行星际空间,估计在 40 多亿年中已损失其质量的 0.14%。

过去曾认为冥王星原是海王星的卫星,与海卫一交换角动量而逃离出来,成为第九大行星。根据现代资料和理论计算,证明这是不可能的。冥王星可能原来是海王星轨道内由星子聚集形成的行星,由于受到另一个较大星子对心碰撞,使冥王星从近圆轨道变为偏心率和倾角大的轨道,碰撞抛出的部分物质又在其周围形成了冥卫。冥王星和冥卫处于太阳系外部,研究它们会给整个太阳系的形成演化提供新信息或检验现代的假说和理论,但观测资料还远远不够。

此外,近 10 多年来从小行星掩恒星和小行星亮度特殊变化的观测,推断出一些小行星也有伴星或卫星。例如,大力神(532 号)小行星掩恒星时也发现了它的伴星掩星,大力神及其伴星的直径分别为 243 千米和 45.6 千米,相距 977 千米。

由此可见,太阳系中双行星是很有意义的问题。

· 明年新栏目 ·

### 《与科学家对话》

本册明年新辟栏目《与科学家对话》,重点介绍我国著名物理学家黄昆、李林、卢鹤绂等回答本刊记者关于《物理是什么》的一系列问题。其中有:“最好的学习方法是什么?”、“从事物理学研究的人应有哪些品质?”、“您成功的秘诀是什么?”。(秋 埔)