

太阳系起源和演化理论的研究

薛善夫[†]

(浙江大学理学院地球科学系 杭州 310007)

摘要 通过角动量守恒计算,证明了原始星云角动量不足,单纯靠星云自转惯性离心力无法抗衡中心部位星云的吸引力,无法在星云赤道处形成星云盘.原始星云角动量不足,同时星云收缩时径向方向速度不等,内快外慢,结果中心部位星云形成太阳,外部赤道部位星云物质因赶不上内部星云物质收缩而掉队形成星云盘.再由星云盘分裂、掉队形成星云环;星云环形成行星、卫星.对太阳系一些主要特征,作了分析和说明.

关键词 太阳系:形成和演化

中图分类号: P 181; **文献标识码:** A

1 引言

太阳系起源和演化理论的研究,不仅具有重要的科学意义,而且还具有重要的哲学意义.地球是太阳系的行星之一,地球科学的许多问题与太阳系起源和演化理论有着密切关系.太阳系起源和演化理论自康德、拉普拉斯 200 多年前提出星云说以来,至今已有 40 多种,大体可分为 3 类,即灾变说、俘获说和星云说.前两类赞成的人越来越少,主张星云说的人越来越多.现在星云说比较流行.

星云说认为,整个太阳系是由同一个原始星云形成的.原始星云一面自转,一面因自吸引收缩.在收缩过程中,由于角动量守恒,自转逐渐加快.当赤道处自转速度大到“自转离心力等于星云对其吸引力时”便在赤道处留下星云物质,形成星云盘.星云中心部位形成太阳,行星、卫星在星云盘中形成.星云说不仅能自然地说明行星绕太阳公转的共面性、同向性和近圆性,而且也能说明行星轨道面同太阳赤道面大致符合的事实.

但星云说中仍有不少问题需要认真的、深入细致的研究和探索.例如,星云盘到底是怎样形成的?行星形成是否经过星云环阶段?星云环的分裂、成因怎样?等等.为此,本文作了如下论述.

2 星云盘的形成

星云盘是怎样形成的,直接涉及到太阳系的形成过程和行星的形成方式,所以需要把它弄清楚.

2011-03-17 收到原稿, 2011-04-11 收到修改稿

[†] chenpingcp@126.com

人们早就知道太阳系总角动量很小, 单纯靠惯性离心力抗衡不了星云对其吸引力, 形成不了转动的星云盘. 于是有些研究者对此便作了一些想当然的设想, 设想原始星云转动角动量为现在太阳系总角动量的 160~200 倍^[1]. 这样似乎提高了原始星云总角动量值, 问题就可以自圆其说了. 能不能自圆其说, 需要通过定量计算说明.

行星、卫星是由星云盘形成的, 根据角动量守恒定律, 今日行星、卫星的角动量值 $\sum A_{pr}$ 与星云盘物质的角动量值 $\sum A_c$ 就应当相等. 如果计算结果两者相等, 那么就说明前面的那种设想方法是科学的. 如果计算的结果两者不相等, 那么就说明前面的那种设想方法不对, 对人们是一种误导.

为计算星云盘星云物质的角动量值, 笔者推导出如下定积分公式^[2], 即

$$A_c = 2\sqrt{GM} \frac{m}{R_2^2 - R_1^2} \int_{R_1}^{R_2} \sqrt{r^3} dr, \quad (1)$$

其中 A_c 为某一行星区域内星云物质的轨道角动量; $G = 6.672 \times 10^{-8} \text{ dyn} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-2}$, 为引力常数; M 为太阳质量, 取 $1.989 \times 10^{33} \text{ g}$; r 为积分变量; m 为某一行星质量 (包括卫星质量); R_1 、 R_2 为某一行星区域内外边界值. 这些数据均采用 CGS 单位制, 都取自文献 [3], 列于表 1. ΔA 为 A_c 和 A_{pr} 的差值.

表 1 星云盘角动量

Table 1 Angular momentum of nebular disk

Planet	$m(\text{g})$	$R_1(\text{cm})$	$R_2(\text{cm})$	$A_c(\text{g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	$A_{pr}(\text{g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	$\Delta A(\text{g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
Mercury	3.332×10^{26}	4.294×10^{12}	7.2706×10^{12}	9.3066×10^{45}	9.04×10^{45}	2.666×10^{44}
Venus	4.870×10^{27}	7.2706×10^{12}	1.2821×10^{13}	1.7952×10^{47}	1.846×10^{47}	-5.08×10^{45}
Earth	5.976×10^{27}	1.2821×10^{13}	2.027×10^{13}	2.8181×10^{47}	2.662×10^{47}	1.561×10^{46}
Mars	6.421×10^{26}	2.027×10^{13}	2.5327×10^{13}	3.5373×10^{46}	3.516×10^{46}	2.13×10^{44}
Jupiter	1.900×10^{30}	4.6526×10^{13}	1.1669×10^{14}	2.0232×10^{50}	1.9284×10^{50}	9.52×10^{48}
Saturn	5.688×10^{29}	1.1669×10^{14}	2.3667×10^{14}	8.836×10^{49}	7.814×10^{49}	1.022×10^{49}
Uranus	8.742×10^{28}	2.3667×10^{14}	3.6607×10^{14}	1.7584×10^{49}	1.704×10^{49}	5.44×10^{47}
Neptune	1.029×10^{29}	3.6607×10^{14}	5.9735×10^{14}	2.6205×10^{49}	2.514×10^{49}	1.065×10^{48}

从表 1 中的计算结果来看, 除了金星区域之外, 其他各区域星云盘物质的角动量值 A_c 都大于相应的行星、卫星的角动量值 A_{pr} . 原来有些研究者认为, 留在赤道面上的星云物质“已经具有足够的角动量了”^[4]. 现在来看, 这种说法是不对的. 从这个计算结果来看, 当初形成行星、卫星的星云盘各区域的角动量值普遍不足 (不够大). 这一事实说明, 当初原始星云角动量不足, 惯性离心力抗衡不了其吸引力, 形成不了星云盘. 所以, 星云盘是怎样形成的问题需要深入的探讨.

转动收缩的原始星云形成星云盘有两种途径. 一种是有“足够的角动量”时, 在赤道边缘部位, 有足够的惯性离心力, 就可以留下星云物质形成星云盘. 另一种是“角动量不足”时, 在赤道边缘部位, 没有那么大惯性离心力, 星云物质留不下来. 但如果原始星云在径向方向上收缩的速度不一样, 内快外慢, 外部赤道部位的星云物质赶不上内部星云物质收缩、降落, 掉 (队) 下来的星云物质也可以形成星云盘. 这样形成的星云盘属于后一种途径. 由此可见, 太阳系原始星云形成的星云盘应当属于掉 (队) 下来的星云物质,

不应当属于留下来的星云物质。不要看这是一字之差，它直接涉及到太阳系的形成过程和行星的形成方式。现在我们认识到了星云盘形成的真实过程，这为行星形成方式找到了确凿依据。

3 行星的形成方式

即使同是持星云说的人，对于行星形成方式的看法也不一样。有人认为先形成原行星，有人认为星子集聚，也有人认为先形成环体，等等。

持先形成原行星观点的人认为，原始星云有两个太阳质量大，初始大小约 10^5 AU，很快收缩形成星云盘。星云盘发生不稳定而形成环，再瓦解为一些气团，大部分气团碰撞结合为 1 ~ 30 倍木星质量大的“气体原行星”；原行星再演化成行星。对原行星如何除去大量物质，特别是从类地行星中除去 99% 以上的气冰物质形成行星，对此人们产生怀疑。

持星子集聚看法的人认为，原始星云自转、收缩而变扁，形成星云盘。星云盘中已凝固的颗粒向盘的“中面”沉降，形成“尘层”。“尘层”瓦解为很多颗粒团，各颗粒团聚成星子，“星子集聚形成行星”^[1]。实现星际航行以来，空间探测发现太阳系许多天体表面上都有许多凹坑，这无疑是星子撞击的结果，似乎对持星子集聚形成行星的观点有利。但行星区宽度比行星胎相对太阳而言的引力范围大 10 倍以上，行星胎引力达不到的地方不可能从那里直接吸积星子和物质，这一点已被牧羊人卫星的观测所证实。

先形成环体的看法最早由法国数学家、力学家拉普拉斯提出。1796 年拉普拉斯提出他的星云说，认为原始星云自转并因冷却而收缩，由于角动量守恒，当赤道外边缘部位星云物质的惯性离心力与中心部位的引力相抗衡时，便在边缘部位分离出星云环体；随着星云不断冷却收缩，星云赤道边缘部位相继生成一圈圈的星云环。星云环再形成行星系统。后来人们发现，如果太阳系真是按拉普拉斯认为的方式形成的话，即使将太阳系角动量全部移到太阳上去，太阳所增加的转动也不足以使物质从它的表面上分离出来。这使拉普拉斯星云说陷入困境。到了 19 世纪末 20 世纪初，这一理论渐渐被人们抛弃。拉普拉斯星云说在历史上起过重大作用，得到恩格斯的肯定。抛弃拉普拉斯星云说困难有增无减。1973 年，澳大利亚的普伦蒂斯博士用超声湍流对流理论重新考虑拉氏学说，形成了“现代拉普拉斯理论”。但普伦蒂斯为了说明太阳系角动量而过分强调超声湍流对流作用，这一理论仍不能为人们所接受。在二十世纪七十年代，我国也有人不同意先形成环体的观点。他们认为，原始星云“已经具有足够的角动量形成一个星云盘”，先形成环体等论点“不能成立”^[5]。他们提出：星云应当是从一开始就留下星云物质直到整个星云盘的形成，“看不出有什么原因来使得物质留一阵，停一阵”^[6]形成环。在这里，我们的计算回答了这一问题。“先形成环体”的论点争论已有 200 多年，我们肯定先形成环体的论点。

通过角动量守恒计算，我们认识到了太阳系形成的真实过程。转动的原始星云，由于角动量不足，同时星云收缩、降落时加速度不等，内快外慢，在中心部位星云形成太阳，外部赤道部位星云物质因赶不上内部星云物质收缩、降落，掉队形成星云盘。随后，

由于在靠近太阳附近加速度最大,所以在太阳附近,首先星云物质耗尽,原始星云一分为二,星云盘与太阳迅速分开.由于星云盘自身有引力,变成了一个绕日转动的大环.大环由于角动量不足,仍向太阳收缩、降落,由于内快外慢,在径向方向上再断裂、掉队,分裂成3个组环^[7],各组环由于角动量不足,在径向方向上再断裂、掉队,分裂成行星环(不是指行星光环),各行星环可能也由许多细环所组成;行星环形成行星、卫星.由于大环分裂成组环,所以后来形成的行星分成3组(类).我们把星云盘的这种分裂过程称为级式分裂^[7].在组环与组环之间,以及星云盘内外边缘,掉下少部分星云物质(环),后来形成了小行星带、柯瓦尔小行星以及柯伊伯带(包括彗星)等.星子是在星云环内形成的,最大的星子成为行星胎,行星胎吸积环内星子和物质,形成行星、卫星.

角动量不足的原始星云掉队形成星云盘、星云环,就不会被拉普拉斯等人所遇到的角动量不足的难题所困扰;同时,在原始星云赤道处到底是形成星云环还是形成星云盘的长期分歧由此也得到了统一.

4 太阳系天体质量径向起伏分布的规律

太阳系天体质量径向起伏分布有规律,即中间(部)大,两侧小.从太阳系整体(即大环范围)来看,中间(部)质量大,如木星、土星,两侧质量小,如类地行星、柯伊伯带等.从类地行星(即组环范围)来看也是,中间(部)质量大,如金星、地球,两侧质量小,如水星、火星.小行星带也是这样,中间(部)小行星质量大,如谷神星、智神星等,两侧小行星质量小.从4个大的卫星系统来看也是这样:木卫系,中间(部)质量大,如伽利略卫星,两侧卫星质量小;土卫系,中间(部)卫星质量大,如土卫六,两侧卫星质量小;天卫系,中间(部)卫星质量大,如天卫五至天卫四,两侧卫星质量小;海卫系,中间(部)卫星质量大,如海卫八、海卫一和海卫二,两侧卫星质量小.行星光环中也是这样,如土星光环分为A、B、C、D、F5个环体,中间B环质量大,两侧C环和A环质量次之,D环和F环质量更次之.我们从宇宙飞船从太空拍回的土星光环照片上来看,土星B环本身遮挡土星边界线的程度也可以看出,B环中间(部)密度大,两侧密度小(见图1).木星光环也是这样,在主环两侧有次环.天王星光环中“在主环 ϵ 两侧存在着10~20公里的比较稀疏的物质层”^[8],等等.一系列事实说明了一条规律:环体物质中聚,即星云环物质在自身引力作用下,向星云环中部的环形轴部集聚.它同球体物质中聚类似,也是实际存在的客观规律^[9].

环体物质中聚,是我们的一个新的发现,它科学地说明了太阳系天体质量径向起伏分布的事实.

5 提丢斯-波得定则

1766年德国物理教师提丢斯指出行星离太阳的距离有规律,1772年柏林天文台台长波得对此加以论述并宣传,因此这个规律被称为提丢斯-波得定则,有时候也被称为

“行星距离定律”. 用公式表示即为

$$a_n = 0.4 + 0.3 \times 2^n,$$

上式中单位为 AU, n 表示行星的编号, 水星取 $-\infty$, 金星取 0, 地球取 1, 火星取 2, 依次取下去. 不少人对此公式进行了研究, 有些人发表过长篇大论的文章. 有些人把公式运用到卫星系统中去, 并进行了发挥. 我们认为提丢斯-波得定则在历史上起过一定的积极作用, 促使人们努力去发现小行星, 成为人们记忆部分行星距离的一种近似方法. 但 $n = -\infty, 0, 1, 2, 3, 4 \dots$ 是一种人为的凑合, 没有逻辑推理的依据. 再说, $n = 3$ 时存在的不是一颗行星, 而是成千上万颗小行星. 海王星、冥王星不符合这个定则. 10 个数值差不多有 $1/3$ 不说明问题, 因此它不能称作定则. 特别是现在, 发现了上百颗新卫星, 其中不少卫星与行星的距离与这个公式规律相差很远. 人们不应该拘泥旧习, 要有创新精神. 研究行星、卫星距离定律, 首先要考虑星云盘的形成过程. 星云盘是掉队下来的, 不是留下来的. 其次要考虑星云环的形成特征: 级式分裂、环体物质中聚等. 这样研究下去, 才能走向正确途径.

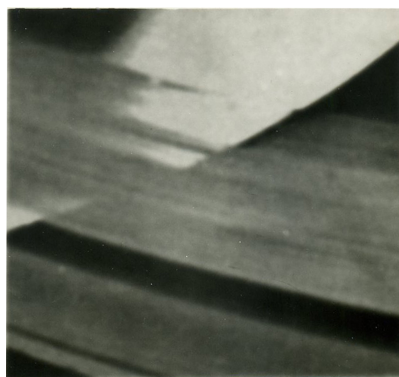


图 1 宇宙飞船拍摄的照片

Fig. 1 Photograph taken from spaceship

6 太阳系反方向物质流的来源

太阳系中有些卫星是逆行的, 过去有些人常认为逆行卫星是俘获来的, 或是碰撞的. 现在又发现了很多逆行卫星. 木星有 63 颗卫星, 其中有 47 颗是逆行卫星. 土星有 60 颗卫星, 其中有 29 颗是逆行卫星. 天王星有 27 颗卫星, 其中有 8 颗是逆行卫星. 海王星有 13 颗卫星, 其中有 4 颗是逆行卫星. 海卫一是海王星最大的卫星, 它是逆行的, 而且靠海王星也比较近. 逆行卫星分布范围也比较广, 有些顺行卫星和逆行卫星还是相间存在的. 以上这些事实单纯用俘获或碰撞来解释是比较困难的, 用反方向物质流来解释是比较合理的.

我国著名地质学家李四光认为, “在一个主旋流的外围引起一个小股反向旋流的可

能,就象河流中大旋涡的外围,有时出现反向旋流的小旋涡那样.运动中的物质,总难免存在着矛盾的两方面,在一定条件下,它们之间的对立统一,是符合自然辩证法的”.我们认为李四光的这个见解是正确的,但他没有说明这样“一个反向旋流”是如何产生的.从星云环观点出发,就可以找出这一小股反方向物质流的来源.引力吸积可以把较远环体中的星子和物质拉过来与行星胎结合或保持在行星胎周围转动.从外侧远处环体拉过来的星子和物质围绕行星胎是顺向旋转,从内侧远处环体拉过来的星子和物质围绕行星胎是逆向旋转.有时,顺逆旋转的星子和物质遇到一起时发生碰撞,角动量抵消而下落.碰撞后没有下落的星子和物质,是顺行还是逆行就看星子和物质的质量比,质量大的一方决定顺行还是逆行.在这里我们找出了反方向物质流的来源.从现在太阳系卫星分布状况来看,逆行卫星用反方向物质流来解释比较合理.

7 结语

太阳系起源和演化理论,是一个很重要的理论性大课题.本文通过角动量守恒计算提出新的看法,最后把主要看法作如下概括:

(1) 原始星云形成星云盘的主要原因,不是因为原始星云自转惯性离心力等于原始星云对其吸引力而在赤道处留下星云物质形成的,而是由于原始星云角动量不足,同时原始星云收缩、降落时径向方向速度不等,内快外慢,中心部位星云形成太阳,外部赤道部位星云物质赶不上内部星云物质收缩、降落而掉队形成星云盘.

(2) 由于星云盘角动量不足,收缩、降落时,内快外慢,在径向方向上断裂、掉队形成星云环.星云环形成特征是级式分裂、环体物质中聚.

(3) 行星是星云环形成的.星子是在星云环中产生的,最大的星子成为行星胎,行星胎吸积环内星子和物质,形成行星、卫星.

(4) 原始星云存在着反方向物质流的因素.反方向物质流因素来自行星胎内侧环体.顺反方向物质流碰撞后的流向取决于它们的质量比,质量大的一方决定物质流是顺行还是逆行.

参 考 文 献

- [1] 胡中为,徐伟彪.行星科学.北京:科学出版社,2008:32
- [2] 薛善夫.天体物理学报,1983,3:40
- [3] 戴文赛.太阳系演化学(上册).上海:上海科学技术出版社,1979:405
- [4] 戴文赛.天文学报,1976,17:165
- [5] 戴文赛,胡中为.中国科学,1980,23:254
- [6] 戴文赛,陈道汉.天文学报,1976,17:93
- [7] 薛善夫.天体物理学报,1984,4:133
- [8] 陈道汉,杨修义,武志贤,等.中国科学,1978,21:325
- [9] 薛善夫.天体物理学报,1988,8:68

A Research on the Origin and Evolutionary Theory of the Solar System

XUE Shan-fu

(Department of Earth Science, College of Science, Zhejiang University, Hangzhou 310007)

ABSTRACT Based on the calculation of the conservation of angular momentum, it is proved that the angular momentum of the primordial clouds is insufficient. The rotational inertial centrifugal force of nebula is not large enough to resist the contraction in the inner parts of nebula. Thus, the nebular disk can not be formed in the equator of nebula. Meanwhile, the nebular contractive speed in the radial direction is quicker in the inner than that in the outer. As a result, the center of the nebula forms the sun, and the exterior nebular material forms the nebular disk because it fails to catch up with the inward contraction of the nebular material in the inner parts. The fission and drop-out of the nebular disk lead to the formation of the nebular ring, and the nebular ring forms the planet and its satellite. On the basis of our analysis, the principal characteristics of the solar system are interpreted.

Key words solar system: formation and evolution