

星系及恒星的形成与演化规律

钟萃相

江西师范大学,江西 南昌 330022

DOI: 10.61369/SDME.2025120042

摘要 : 随着天文观测技术的进步,人们对于星系的形成与演化有了更深刻的了解,但对星系的许多细节仍然未知。于是,作者通过对卫星、行星和恒星的形成与变轨机制的研究,提出了一套关于星系及恒星的形成与演进新理论,从而揭示了星系的层次结构以及主序星、红巨星、白矮星、黑矮星、超新星、中子星、黑洞及类星体的形成与演化规律,还揭示了恒星形成与演进过程中的一些特殊现象,如黑子、耀斑、快速射电暴、伽马射线暴等。

关键词 : 黑子; 红巨星; 白矮星; 超新星; 中子星; 类星体; 快速射电暴; 伽马射线暴

The Formation and Evolution Laws of Galaxies and Stars

Zhong Cuixiang

Jiangxi Normal University, Nanchang, Jiangxi 330022

Abstract : With the advancement of astronomical observation technology, people have gained a deeper understanding of the formation and evolution of galaxies, but many details about galaxies remain unknown. Therefore, through research on the formation and orbital variation mechanisms of satellites, planets, and stars, the author proposes a new theory on the formation and evolution of galaxies and stars. This theory reveals the hierarchical structure of galaxies, as well as the formation and evolution laws of main-sequence stars, red giants, white dwarfs, black dwarfs, supernovae, neutron stars, black holes, and quasars. It also uncovers some special phenomena in the process of star formation and evolution, such as sunspots, solar flares, fast radio bursts, and gamma-ray bursts.

Keywords : sunspots; red giants; white dwarfs; supernovae; neutron stars; quasars; fast radio bursts; gamma-ray bursts

引言

随着天文观测技术的进步,人们对于星系的形成与演化有了更深刻的了解。观测结果不仅揭示了星系的形态、结构和动力学性质,而且为进一步研究宇宙的起源和演化提供了重要的基础^[1]。然而,人们对于星系的许多细节仍然未知。为此,作者通过对卫星、行星和恒星的形成与变轨机制的研究,提出了一套关于星系形成与演进的新理论,从而揭示了星系的层次结构以及主序星、红巨星、白矮星、黑矮星、超新星、中子星、黑洞及类星体的形成与演化规律。

一、行星系统的形成与演化

如同太阳系的形成过程,一个恒星通常可以衍生多个环绕的行星,其中有些行星又能衍生一些环绕的卫星,从而形成一个恒星带行星的系统^[2]。但是在原恒星衍生其子行星之前,其原恒星表面温度很低,特别是两极的温度常常低于冰的熔点,因此大量的水分子被吸附在原恒星极地,形成厚厚的冰盖。当原恒星演变成恒星时这些卫星就变成了行星。由此可见,恒星一般具有几个跨越两极的行星,如太阳的木星、土星、天王星和海王星。

由于恒星质量巨大,其周围环绕着一层厚厚的大气层。在恒星快速自转的过程中,在其两极可形成一些快速旋转的大气涡旋。在行星绕恒星公转的过程中,跨越两极的行星能够牵引巨大的云团经过极地大气涡旋的顶部,当这种云团被卷入恒星极涡时

就会被大大压缩,但恒星角动量保持不变,这就会使恒星自转加快,从而使行星渐渐地远离恒星。

若行星质量相当大则它具有浓厚的大气层,在这种行星快速自转的过程中,其两极也会产生大气涡旋。当跨越两极的卫星绕其父行星旋转时,它就会牵引云团经过行星的极涡顶部,一旦这种云团被卷入行星的极涡就会被压缩,从而使行星体积变小,但保持行星角动量不变,这就会使行星自转加速,从而使卫星渐渐地远离行星。

二、恒星的形成与演化

(一) 恒星的伊始—新星 (new star)

恒星的形成一般要经历由卫星到行星再到恒星的过程。原恒

星从一个体积和质量均很小的卫星演化成地球大小的行星后，产生了它的一些卫星，但它仍然环绕着父星旋转，不断地吸积轨道附近的星际物质而逐渐变大，并在星子撞击或自转逐渐加速的父星的万有引力带动下渐渐地远离父星^[3]。后来它还可能遇到一些通过变轨从后面追赶上来的行星的撞击，使它成长为木星大小的巨星^[4]。由于这种巨星的质量很大，能吸引各种气体分子，形成浓密大气层，并且在自转的过程中可形成强大的极涡，其中还能形成强大的螺旋电流，从而产生强大的偶极磁场，如图1所示。

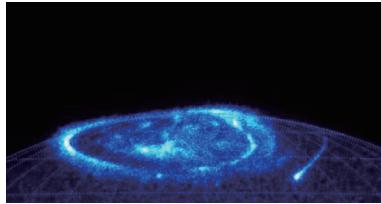


图1 美国宇航局通过哈勃太空望远镜捕捉到的木星北极涡旋中的螺旋电流



图2 原恒星上的大气涡旋

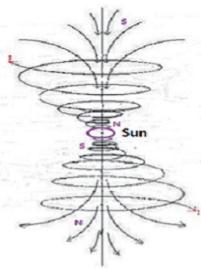


图3 原恒星上的大气涡旋磁场

随着大量云团沿螺旋云路快速下沉，云团之间的碰撞频繁发生，云碰撞时能将电流送到涡旋顶部或底部。但由于螺旋云带中已形成从涡旋底部流向涡旋顶部的电流，因此螺旋云带中占主导的电流是从涡旋底部流向涡旋顶部的电流，从而可产生强大的偶极磁场，如图3所示。

2019年5月23日天文学家纳西姆·哈拉明在SOHO卫星（日光层探测器）传回的照片中发现了一个白色不明物体从太阳的北极黑子区域中飞出来，这个晶体状物体的体积和地球差不多大小，如图4所示。

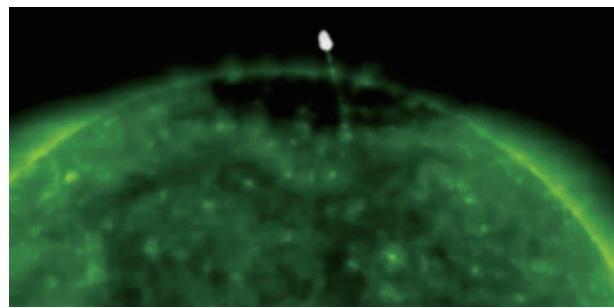


图4 巨大晶体从太阳北极黑子区域中飞射出来

当褐矮星的大气涡旋中有巨大的金属氢晶体相撞时，能使附近的压强增加上十倍，超过3000亿个大气压，因此可在气旋中点燃氢聚变成氦的热核反应，并引起气旋旁边的一系列热核反应。

发生热核反应时，在短时间内释放大量能量，引起金属氢的剧烈爆炸，产生各种电磁辐射。金属氢晶体的剧烈爆炸还会产生射向四周的着火碎片，使黑子旁边突然出现迅速增强的亮斑，这就是所谓的恒星耀斑。因此耀斑表征着恒星热核反应的爆发，期间发生的

剧烈爆炸可能会改变黑子气旋的结构或使黑子气旋收缩衰退。

在前导黑子气旋衰退之后没有靠近恒星且公转速度较快的行星牵引星云物质给这些衰退的黑子气旋添加热核反应所需的燃料或者没有后继黑子气旋接替工作，恒星上的热核反应就会停止。幸而恒星通常有多个靠近恒星且公转速度较快的行星（如水星、金星、地球等）牵引星云物质给这些衰退的黑子气旋添加热核反应所需的燃料，使这些黑子气旋中的热核反应得以继续；另外，诸如木星这样的巨行星对太阳极地气旋的作用力较大，当它靠近太阳两极的黑子气旋时就能通过万有引力的作用，使两极黑子气旋倾斜、拉伸、剪切或破裂，甚至拖出一些子气旋，将它们散布到太阳表面上。当一个子气旋吸收了足够的气流成为又长又大且耐高温的气旋时，便从高层垂落到低层，成为成熟壮大的黑子，接续前导黑子的热核反应。

表1列出了太阳系主要行星对太阳表面物体引力之比及其公转周期，从中可见木星对太阳表面物体引力最强，而其他行星对太阳表面物体的引力则小得多。

表1 太阳系主要行星对太阳表面物体引力之比及其公转周期

行星	质量	平均离日距离	相对水星 引力之比	公转周期 (太阳自转 周期=25.05 d)
水星	3.3022×10^{23} kg	57909050 km	1	87.9691 d
金星	4.8690×10^{24} kg	108209184 km	0.42228	224.7 d
地球	5.9650×10^{24} kg	149597888 km	2.70684	365.24 d
火星	6.4219×10^{23} kg	227925000 km	0.12554	686.980 d
木星	1.9000×10^{27} kg	778547050 km	31.8327	11.8618 yr
土星	5.6834×10^{26} kg	1429400000 km	2.850523	29.5yr
天王星	8.6810×10^{25} kg	2871000000 km	0.169529	84 yr
海王星	1.024×10^{26} kg	4504000000 km	0.512647	164.8 yr

事实上，我们还可以更清楚地比较一下木星与其他行星对太阳黑子气旋的影响。已知木星近日点距离 $R_n = 7.4052 \times 10^8$ km，远日点 $R_f = 8.1662 \times 10^8$ km，木星的质量为 $M_J = 1.900 \times 10^{27}$ kg，故木星在近日点和远日点对太阳上质量为 m 的物体的万有引力分别为

$$F_n = G \frac{M_J m}{R_n^2}, \quad F_f = G \frac{M_J m}{R_f^2}$$

假设水星的质量为 M_w ($M_w = 3.3022 \times 10^{23}$ kg)，水星与太阳的距离为 R_w (=57910000 km)，水星对太阳上质量为 m 的物体的万有引力为 F_w ，则

$$F_w = G \frac{M_w m}{R_w^2},$$

于是

$$\frac{F_n}{F_w} = \frac{M_J}{M_w} \frac{R_w^2}{R_n^2} \approx 35.19, \quad \frac{F_f}{F_w} = \frac{M_J}{M_w} \frac{R_w^2}{R_f^2} \approx 28.93$$

由此可见，无论木星处于近日点还是远日点，它对太阳上任何物体（包括极地气旋）的作用力都比围绕太阳旋转的其他行星对该物体的作用力大，所以木星是吸引太阳极地气旋并产生太阳黑子的主要行星。事实正是如此，因为太阳黑子的活动周期大约是11年，约等于木星绕太阳的公转周期（11.86年）。更详细的观察表明，在每一个太阳黑子的活动周期中，从黑子数最少的年开始，在随后的3至5年增大，达到一个峰值，然后又在随后的5至7年减少到一个极小值。这与木星绕太阳的公转周期一致，即在木星从远日点向近日点移动过程中，在第3至第5年中木星引出的黑子数逐渐增大，达到一个峰值，然后在木星从近日点向远日点移动过程中，在第5至第7年中木星引出的黑子数逐渐减少，达到一个最小值。可见，当木星在近日点时引出的黑子最多，而在远日点时引出的黑子最少，几乎不会引出黑子来。由于除木星之外的其他行星对太阳极地气旋的作用力比木星在远日点对太阳极地气旋的作用力小得多，因此这些行星无法从极地气旋中引出黑子。

如图5所示。这就是恒星的主序阶段，持续时间比较长。

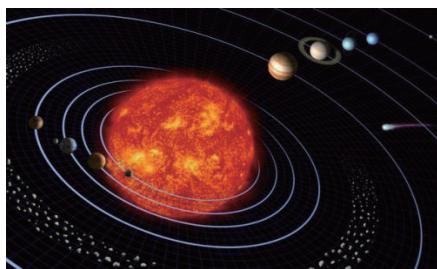


图5 太阳系中八大行星的轨道

（二）中年恒星—红巨星 (red super giant)

尽管星系结构长期稳定，但是从天文学的时间尺度来看，星系之间的碰撞时有发生。比如，根据第2节所述的行星系统的一般运行规律可知，随着地球自转的逐渐加速，其卫星月球会渐渐地离开地球且其质量逐渐增大。但是金星和水星离太阳较近，长期处于酷热的环境中，其质量不会增加。当月球轨道与金星轨道相交时，月球的质量可能超过金星的质量，当月球与金星相撞时就会使金星坠落到太阳上，如图6所示。类似地，随着木星自转速度的增加，木星卫星也会渐渐地远离木星且其质量逐渐增大，木星卫星的轨道可能与火星、地球或水星的轨道相交，导致这些行星被击落到太阳上。特别地，当木星卫星到达水星的轨道面时，木星卫星的质量可能大于水星的质量，且由于水星绕太阳运行的轨道成花瓣形，因此该木星卫星迟早会撞上水星，且发生碰撞时足以把水星撞落到太阳上。当如太阳的恒星吞没了其内层行星之后，由于没有靠近恒星的内层行星来为太阳的黑子气旋添加燃料，因此恒星无法吸收足够的氢元素来维持恒星内部的氢聚合反应，打破了核聚变辐射压与自身收缩引力的平衡，于是内部氦核收缩并变热，氢外壳向外膨胀并冷却。随着内部氦核的收缩，其自转加速，氢外壳受到离心力的作用而向外漂移，使恒星迅速膨胀为红巨星^[5]。这个过程可能持续数十万年，氦聚变的最终结果是在中心形成一颗白矮星。

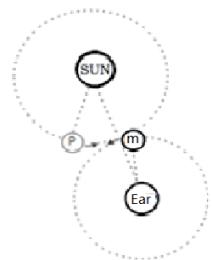


图6 木星卫星S与太阳系内行星P发生碰撞

（三）晚年恒星—白矮星

当红巨星燃烧完主要内层行星之后，由于没有主要的内层行星来为黑子气旋添加燃料，因此恒星无法吸收足够的氢元素来维持恒星内部的氢聚合反应，其内部温度逐渐降低，就会打破核聚变辐射压与自身收缩引力的平衡，导致内部氦核收缩并变热^[6]，如图7所示。



图7 一个白矮星及其大气层

形成白矮星的原因是由于白矮星还存在诸如木星这样的巨行星，它能通过万有引力的作用从白矮星的极地气旋中拖出一些子气旋，将它们散布到白矮星的各处，但由于没有快速的内层行星为这些子气旋添加燃料，致使它们失去发出强光的能力，使得白矮星变暗发白。如果白矮星再次吞没了这种诸如木星的巨行星，如图8所示，就无法在白矮星上散布子气旋，就会使白矮星变为“黑矮星”。当“黑矮星”自转轴两端的气旋不对着地球时，人们几乎看不到黑矮星发出的光，此时人们误以为它是真正不发光的矮星。但由于收缩后的恒星仍然不停地自转，且自转轴两端的气旋肯定会发光，因此绝对不发光的黑矮星是不存在的。



图8 天文学家发现一颗白矮星正在剥离一颗体积是它四倍的气体巨星的大气层

（四）死而复活—超新星

由于黑矮星是在主序星吞并了可为黑子气旋添加燃料的行星之后收缩而成的恒星，因此其体积大大缩小，自转速度大大加快，除了恒星两极之外很少有活动闪光的气旋，即使有零星的气旋散落在两极之外，也会因为没有内层行星为它们添加燃料而失去发光能力。但是，由于黑矮星仍然存在一些如土星这样的外层行星，而且这些子行星质量巨大且具有一系列卫星环绕其运行。随着这些子行星的自转，其卫星的旋转半径也会逐渐增大，当一颗这样的卫星靠近黑矮星的极地气旋时就会被强大的气旋吸引而坠落到黑矮星上，与黑矮星发生猛烈的碰撞，产生强烈的伽马射线暴，释放出巨大的能量，闪耀出明亮的光芒，使很暗或根本看不见的恒星一下子

变为异常明亮的超新星^[7]，如图9所示。当这种极地气旋对着人们的视觉时人们就以为恒星变成了黑洞，所以人们从发生伽马射线暴的恒星观察到的黑洞实际上就是恒星的极地气旋。



图9 超新星爆发产生的伽马射线暴 SN 2014J

(五) 恒星演化的后期—中子星

在一个主序星演变成黑矮星之后，其质量比主序星的质量有显著增加，其大气层也显著增厚，但其体积大大缩小，甚至比月球还小，因而其自转速度大大加快，两极气旋大大增强。它会不断地吸积轨道附近的星云物质和进入其引力视界的子星系中的卫星或行星，从而变得越来越大。

另外，随着中子星的快速自转，其子星系也在其不停地绕着中子星旋转，当子星系牵引过来的巨大云团靠近极地气旋时就会被强大的极地气旋卷入其中，当这些云团到了气旋底部时就被压缩成巨大的金属氢晶体，且当这种巨大的金属氢晶体猛烈撞击中子星表面时就会发生猛烈的爆炸，把产生电磁波的螺旋电路喷射出去，形成猛烈的快速射电暴，如图10所示。

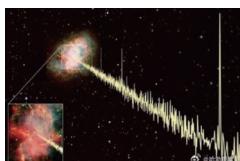


图10 中子星喷发的快速射电暴

(六) 恒星演化的终点—黑洞

在中子星向更大质量巨星演变的过程中，其两极气旋不停地吸积轨道附近的星云物质和进入其引力视界的子星系中的卫星或行星，使其质量不断增大，表面不断增厚。特别地，伴随着中子星的自转，其子星系也会绕着中子星旋转，当子星系牵引着云团经过中子星的极地气旋旁边时，极地气旋就会卷入子星系牵引过来的云团，当这些云团到了气旋底部能被压缩成巨大的金属氢晶体，当这种巨大的金属氢晶体猛烈撞击恒星表面时，不仅会对恒星表面直接产生巨大的压力，还会发生猛烈的爆炸，增添更大的压力，甚至引起热核反应。

(七) 黑洞演化成类星体

由于黑洞是星系结构中恒星演化的产物，而星系结构是永不休止的，永远处于不停地运动和变化之中。随着星系结构的运转，黑洞还会不断地吸积轨道周围的星云物质和进入黑洞视界的子星系中的卫星、行星或恒星，从而变得越来越大。例如，2016年6月22日科学家们就观察到一个超大黑洞正在吞噬一颗恒星，随后美国航天局(NASA)公布了该黑洞吞噬恒星细节的合成照片，如图11所示。



图11 黑洞吞噬恒星的过程

(八) 类星体的能量来源和燃料的供给机制

由于类星体是宇宙星系长期演化的结果，它是由恒星经过红巨星、白矮星、中子星、黑洞、超大质量黑洞等多个阶段演变而成的活动星系核(AGN)，因此活动星系核中有一个快速自转的超大质量黑洞。在这个超大质量黑洞的强大引力作用下，随着黑洞的快速自转，周围空间中的氢气、尘埃以及其他星际物质在黑洞两极形成两个强大的大气涡旋，这种大气涡旋的高度可达到几光年，当这种两极气旋对着地球观测者时，就呈现出一个巨大的吸积盘。由于距离地球100亿光年的类星体的质量可达到银河系总质量的1000多倍，所以其中心黑洞足以吸引极其浓厚的星云，其内部能达到恒星上进行热核反应的温度和压强(1500万度和3000亿个大气压以上)，当黑洞气旋中有巨大的金属氢晶体相撞时可点燃氢聚变成氦的热核反应：



发生热核反应时，在短时间内释放大量能量，引起金属氢的剧烈爆炸，产生强烈的电磁辐射，而且类星体的发射能量可达到普通星系发射能量的上千倍以上。

三、总结

由于星系是由恒星、行星、卫星、气体、尘埃和暗物质组成的大结构，因此理解星系的构成物质和支撑能量至关重要。而过去人们简单地认为星系是由镶嵌在星云中的恒星和气体、尘埃构成，对星系的形成和运转规律模糊不清。即使天文观测技术有了进步，人们对宇宙星系的许多细节仍然不清楚。于是，作者通过对卫星、行星、恒星的形成和演化机制的研究，彻底揭示了星系的层次结构，特别地弄清楚了组成宇宙星系的暗物质和暗能量，使宇宙星系结构、主序星、红巨星、白矮星、黑矮星、超新星、中子星、黑洞、类星体、黑子、耀斑、快速射电暴、伽马射线暴等大白于天下。

参考文献

- [1] 葛雪. 早型星系中的恒星形成以及熄灭机制 [D]. 南京大学, 2020.
- [2] 郭可欣. 星系中恒星形成活动及演化的统计研究 [D]. 中国科学院大学 [2025-04-16].
- [3] 高宇翔, 郭可欣, 郑宪忠. 恒星形成星系主序关系的研究进展 [J]. 天文学进展, 2015, 000(002): 159-174.
- [4] 陈广文. 近邻星系物理性质和形成机制的观测研究 [D]. 中国科学技术大学, 2024.
- [5] 穆子豪, 沈世银, Rafael S.de Souza, 等. 棒与星系整体恒星形成性质关系的统计研究 [J]. 天文学进展, 2024, 42 (01): 115-127.
- [6] 陈瑶鑫, 康熙. 恒星形成星系主序关系的研究现状 [J]. 天文学进展, 2023, 41 (02): 155-168.
- [7] 陈恩. 星系磁场和恒星形成触发机制的研究 [D]. 中国科学技术大学, 2023.
- [8] 鲍敏. 近邻宇宙中的气体、恒星运动和星系演化研究 [D]. 南京师范大学, 2022.
- [9] 俞效龄. 近邻星系中恒星形成的反馈及核活动的研究 [D]. 南京大学, 2021.
- [10] 高煜. 河外星系恒星形成的物理规律探讨 [J]. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2021, 51 (03): 158-167.