

双星的形成与演化

钟萃相

江西师范大学, 江西 南昌 330022

DOI: 10.61369/SSSD.2026050044

摘 要 : 双星的形成与演化是恒星形成与演化的关键步骤, 因此其研究成为了现代天文学研究的核心内容。尽管早在 1976 年玻丹·帕琴斯基提出了双星共有包层演化理论, 但一直没有得到确认, 直到 2022 年中国科学院云南天文台与澳大利亚团队首次观测到了双星共有包层抛射现象, 为玻丹·帕琴斯基的理论提供了支持, 但对于双星的真正形成机制与演化过程尚未确定。为此本文作者根据双星共有包层演化理论和潮汐瓦解理论提出了双星的形成与演化理论, 为确立完整的恒星形成与演化理论奠定了基础。

关 键 词 : 双星共有包层演化理论; 双星共有包层抛射现象; 潮汐瓦解, 双星的形成与演化

Formation and Evolution of Binary Stars

Zhong Cuixiang

Jiangxi Normal University, Nanchang, Jiangxi 330022

Abstract : The formation and evolution of binary stars constitute a crucial step in the process of star formation and evolution, making their study a core aspect of modern astronomy. Although the theory of binary stars sharing a common envelope was proposed by Bodan Paczyński as early as 1976, it remained unconfirmed until 2022 when the Yunnan Observatory of the Chinese Academy of Sciences and an Australian team first observed the phenomenon of binary stars ejecting their common envelope, providing support for Bodan Paczyński's theory. However, the true formation mechanism and evolutionary process of binary stars remain uncertain. In this paper, the authors propose a theory of binary star formation and evolution based on the theory of binary stars sharing a common envelope and tidal disruption theory, laying the foundation for establishing a comprehensive theory of star formation and evolution.

Keywords : binary star common envelope evolution theory; binary star common envelope ejection phenomenon; tidal disruption, binary star formation and evolution

引言

双星的形成与演化是恒星形成与演化过程中的关键步骤, 因而是现代天文学的核心领域之一, 其研究内容涵盖恒星的形成和紧致天体演化的全过程, 并为宇宙中极端物理现象提供关键的观测依据。20 世纪 70 年代以来, 双星观测揭示了脉冲星、X 射线双星等系统的存在, 为广义相对论和黑洞的存在提供了关键证据, 但是对于双星的形成机制和演化过程却一知半解。1976 年玻丹·帕琴斯基提出了双星共有包层演化理论, 描述了一颗恒星因物质剧烈损失而膨胀, 包裹另一颗恒星形成外包层的过程。2019 年中国天文台的研究表明双星在形成初期已经过动力学处理。2022 年中国科学院云南天文台与澳大利亚团队首次观测到双星共有包层抛射现象, 并确认了双星物质损失。2025 年的新近研究还揭示, 隐藏在双星附近的第三颗天体 (如黑洞) 可通过角动量剥离显著加速双星演化, 缩短相接双星的形成时间。这一发现挑战了传统理论, 为建立双星形成机制与演化过程的科学理论奠定了基础。

一、单星的形成与演化

由于双星是由单星组成的, 因此研究双星的形成与演化时应该从研究单星的形成与演化开始。众所周知, 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。后来它还可能遇到一些通过变轨从后面追赶上来的小行星的撞击, 使它成长为木星大小的巨星。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地大气涡旋, 这种极涡可以不停地吸收周围空间中的氢和其他星云物质到原恒星上来, 也可以向外喷出一些物质。在行星环绕原恒星公转的过程中, 跨越两极的行星

能够牵引巨大的云团经过极涡顶部，当这种云团被卷入极涡时就会被大大压缩，但原恒星角动量保持不变，这就会使原恒星自转加速，从而使行星渐渐地远离原恒星。

原恒星上大气涡旋的中心深度可达到十几万公里以上，直径为几千到几万公里。由于被原恒星大气涡旋卷入的云团沿着漫长的螺旋路径下沉，在下沉过程中会变得越来越快和越来越冷，到了涡旋底部气流速度比地球上12级台风的速度还要快几十倍，云团早已凝结成冰雹，所以原恒星上大气涡旋中的气温比起周围的气温要低得多。因此，在原恒星演变成发光发热的恒星之后，从远处看这种大气涡旋就像一个个小小的黑子。

由于有源源不断的云气被卷入极涡并以螺旋方式向下快速旋转，因此可形成一系列厚实的螺旋云带。在这种等离子体云带中，获得电子的负离子比失去电子的正离子重，便向下移动甚至流落到涡旋底部，较轻的正离子则向上移动甚至上移到涡旋顶部，从而在螺旋云带中形成了从涡旋底部流向涡旋顶部的电流，并产生一个强大的偶极磁场，如图1所示。

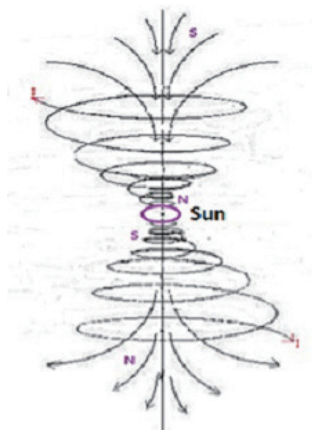


图1恒星上的大气涡旋磁场

另外，由于恒星的极涡涵盖广阔深邃的大气空间，因此可以卷入大量的云团。这些云团在下沉过程中被逐渐压缩，变得越来越厚重、质量越来越大，云团在经过漫长的螺旋路径时容易发生剧烈的摩擦和碰撞，频繁地产生强烈的雷电，使周围空气温度迅速上升至几万度，大气压力也上升到百万大气压，因此涡旋中的许多气态氢转变为液态金属氢。这种液态金属氢和液态氢混合在一起，在沿螺旋路径快速下沉的过程中被逐渐冷却，到了涡旋底部时便凝结成一系列巨大晶体，其中包含固态金属氢和固态氢。例如，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大小差不多，如图2所示。

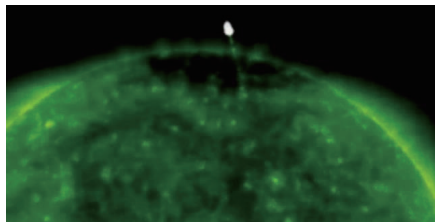


图2一个地球大小的物体从太阳黑子区域飞出

已知木星内部温度达到3万度，内部压强在4000万个大气压以上，而即将成为恒星的褐矮星的体积和质量与太阳的体积和质量相当，其体积和质量都是木星体积和质量的1000倍以上，因此这种褐矮星的内部温度能达到3000万度（>1500万度），内部压强应该在400亿个大气压以上。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，因此可在黑子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的能量，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。

一般恒星黑子的形成和消失只能经历几天到几个月，而且一个黑子气旋所能吸引氢气的范围也是有限的，超出其引力作用范围的氢气是不能被吸入气旋的，所以如果在前导黑子气旋衰退之后没有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，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。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。

下面表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	$3.3022 \times 10^{23} \text{ kg}$	57909050 km	1	87.9691 d
金星	$4.8690 \times 10^{24} \text{ kg}$	108209184 km	0.42228	224.7 d
地球	$5.9650 \times 10^{24} \text{ kg}$	149597888 km	2.70684	365.24 d
火星	$6.4219 \times 10^{23} \text{ kg}$	227925000 km	0.12554	686.980 d
木星	$1.9000 \times 10^{27} \text{ kg}$	778547050 km	31.8327	11.8618 yr
土星	$5.6834 \times 10^{26} \text{ kg}$	1429400000 km	2.850523	29.5yr
天王星	$8.6810 \times 10^{25} \text{ kg}$	2871000000 km	0.169529	84 yr

海王星	$1.024 \times 10^{26} \text{ kg}$	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 $R_n = 7.4052 \times 10^8 \text{ km}$ ，远日点距离 $R_f = 8.1662 \times 10^8 \text{ km}$ ，木星的质量为 $M_J = 1.900 \times 10^{27} \text{ kg}$ ，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 ($M_w = 3.3022 \times 10^{23} \text{ kg}$ ，水星与太阳的距离为 $R_w = 57910000 \text{ km}$ ，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

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

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，因此除木星之外的其他行星无法从极地气旋中引出黑子。可见，正是木星从太阳极地气旋中引出了遍布太阳的黑子。然后，由靠近太阳且公转速度较快的水星、金星、地球等牵引星云物质给轨道附近的黑子气旋添加热核反应所需的燃料，使黑子气旋中的热核反应得以继续。

然而，当前木星的近日点距离是7.41亿公里，还不是恒星。有的专家猜测，仅当一个巨星的质量达到木星质量的70 ~ 80倍，它才有足够的引力、压强和温度，使氢元素间发生聚变反应而形成恒星。事实上，这种猜测并不准确，因为在木星南半球纬度为20°的位置有一个“大红斑”，它是一个持续旋转的巨大气旋，其内部温度比周围大气层高数百摄氏度，这表明该气旋内部发生了核聚变反应，但终因势单力薄，未能引发木星全球的热核反应。

为何如此巨大的木星仅有一个发热气旋？这是因为木星拥有60多个卫星，其中对木星上的气旋具有较大引力的卫星就有4个，包括木卫一、木卫二、木卫三和木卫四，如下表2所示。当一

个卫星从木星极地气旋拖出一个气旋时，其他几个大卫星都对该子气旋有重大的引力作用，因此容易将其撕碎，可见木星卫星从木星极地气旋中拖出存活子气旋的概率很小，300年才剩下一个“大红斑”子气旋。

表2 木星卫星对木星表面物体引力之比

木星卫星	到木星距离	质量	相对水星引力之比
木卫一	422000 km	$8.94 \times 10^{22} \text{ kg}$	5096.61
木卫二	671000 km	$4.80 \times 10^{22} \text{ kg}$	1082.68
木卫三	1070000 km	$1.48 \times 10^{23} \text{ kg}$	1314.48
木卫四	1883000 km	$1.08 \times 10^{23} \text{ kg}$	310.33
木卫五	181000 km	$2.08 \times 10^{18} \text{ kg}$	0.0645

要使木星上遍布“大红斑”这样的气旋就需要等到木星的大质量卫星离开木星足够远。比如，当木卫一、木卫二、木卫三和木卫四从当前位置向外移动960万公里后，木卫一、木卫二和木卫五的质量加倍，木卫三和木卫四的质量增加两倍，则它们对木星表面物体引力之比如表3所示，其中木卫三对木星表面物体引力与木星对太阳表面物体引力之比为39.6297，这表明木卫三对木星表面物体引力大于木星处于近日点时对太阳表面物体引力，于是木卫三可从木星两极气旋中牵引子气旋到木星赤道附近，形成诸如“大红斑”这样的子气旋；而木卫一、木卫二和木卫四对木星表面物体引力与木星对太阳表面物体引力之比都小于28.93，表明木卫一、木卫二和木卫四对木星表面物体引力小于木星处于远日点时对太阳表面物体的引力，故这些木星卫星只能牵引星云物质给轨道附近的“大红斑”气旋，为其添加热核反应所需的燃料，使木星成为一个矮新星。

表3 木星卫星从当前位置向外移动960万公里后对木星表面物体引力之比

木星卫星	到木星距离	质量	相对水星引力之比
木卫一	10020000 km	$1.788 \times 10^{23} \text{ kg}$	3.129
木卫二	10271000 km	$9.60 \times 10^{22} \text{ kg}$	9.247
木卫三	10670000 km	$4.44 \times 10^{23} \text{ kg}$	39.6297
木卫四	11483000 km	$3.24 \times 10^{23} \text{ kg}$	24.9538
木卫五	9781000 km	$4.16 \times 10^{18} \text{ kg}$	0.00044

事实上，要等到木卫一、木卫二、木卫三和木卫四从当前轨道位置向外移动960万公里并不难。已知两个星球的质量为 m_1, m_2 ($m_1 > m_2$) 和它们之间的距离为 l ，求一个星球绕另一个星球旋转的离心力公式是

$$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / l^2 \quad (G = 6.674 \times 10^{-11})$$

根据上述公式可以证明，当木星（质量为 m_J ）绕太阳（质量为 m_S ）旋转时，假设木星与太阳的距离为 l_1 且木星所受太阳自转产生的离心力为 F_1 ，则木星上每千克质量所受太阳自转产生的离心力为

$$F_1/m_J = G \cdot m_S / l_1^2 = 1.989 \times 10^{30} G / l_1^2 = 1.3274586 \times 10^{20} / l_1^2 \quad (1)$$

当木星卫星（质量为 m_{JS} ）又绕木星旋转时，假设木星卫星与木星的距离为 l_2 且木星卫星所受木星自转产生的离心力为 F_2 ，则木星卫星上每千克质量所受木星自转产生的离心力为

$$F_2/m_{JS}=G \cdot m_J/l_2^2=1.8982 \times 10^{27}G/l_2^2=1.26685868 \times 10^{17}/l_2^2 \quad (2)$$

根据公式（1）可以计算出当木星处于近日点时其上每千克质量所受太阳自转产生的离心力

$$F_1/m_J=1.3274586 \times 10^{20}/(7.41 \times 10^8)^2 \approx 0.241176 \times 10^3 \text{ N}$$

根据公式（2）可以计算出当木星四个卫星从当前位置向外移动9600000km后其上每千克质量所受木星自转产生的离心力为

$$F_{21}/m_{JS}=1.26685868 \times 10^{17}/(10020000)^2 \approx 1.2618 \times 10^3 \text{ N} > F_1/m_J$$

$$F_{22}/m_{JS}=1.26685868 \times 10^{17}/(10271000)^2 \approx 1.2011 \times 10^3 \text{ N} > F_1/m_J$$

$$F_{23}/m_{JS}=1.26685868 \times 10^{17}/(10670000)^2 \approx 1.1127 \times 10^3 \text{ N} > F_1/m_J$$

$$F_{24}/m_{JS}=1.26685868 \times 10^{17}/(11483000)^2 \approx 0.9607 \times 10^3 \text{ N} > F_1/m_J$$

可见木卫一、木卫二、木卫三和木卫四从当前位置向外移动9600000km的过程中其上每千克质量所受木星自转产生的离心力都大于木星从当前近日点向更远近日点移动过程中其上每千克质量所受太阳自转产生的离心力，所以不需要等待木星从当前近日点向更远近日点移动9600000km就能使木卫一、木卫二、木卫三和木卫四从当前轨道位置向外移动9600000km以上，从而使木星变成一个周围可以启动热核反应的新矮星。

二、太阳系中双星的形成与演化

天文观测表明宇宙星空中存在大量的双星，但太阳却还没有伴星，这是因为太阳系还很年轻。伴随着太阳上热核反应的进行，太阳爆发活动频繁发生，太阳不断抛射耀斑碎片和日冕物质到宇宙空间，这些抛射物质可被太阳系的行星和卫星吸收，因此木星作为太阳系中质量最大的行星，它对太阳抛射物质的吸引力最大，因而成为了太阳系中质量最大的行星。正是木星这样的巨行星对太阳两极气旋具有较大的作用力，当它处于近日点时就能通过万有引力的作用从太阳极地气旋中拖出黑子气旋，将它们散布到太阳上，然后等待太阳的行星牵引星云物质给这些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。由于行星牵引给黑子气旋的巨大云团被大大压缩，因此太阳的转速不断加快，在太阳自转产生的离心力的作用下七大行星（水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星）的轨道向外扩展，特别地木星的近日点距离随着递增。根据第2节计算的结果可知，不需要等待木星从当前近日点距离（7.41亿 km）扩展9600000km就能使木卫一、木卫二、木卫三和木卫四等从当前轨道位置向外移动9600000km以上，从而使木星变成一个周围可以启动热核反应的新矮星。

随着木星的近日点距离的递增，它从太阳极地气旋中拖出的黑子气旋越来越少，另外，随着七大行星的轨道向外扩展，它们带给太阳黑子气旋的氢气也越来越少，越来越难以吸收足够的氢气来维持太阳内部的热核反应。另外，当木星变成新矮星之后，

它可以利用黑子气旋来进行热核反应，需要抢占太阳系所在空间中的氢气资源。当太阳无法吸收足够的氢气来维持太阳内部的热核反应时，就会打破核聚变辐射压与自身收缩引力的平衡，太阳内部氦核收缩并变热，氦外壳向外膨胀并冷却。随着太阳内部氦核收缩，其自转加速，氦外壳受到离心力的作用向外漂移，使太阳膨胀为红巨星，这一阶段可能延续几万年。红巨星的体积可达到太阳的几倍甚至上百倍。随着红巨星的膨胀，其自转逐渐减慢，使得绕着红巨星旋转的新矮星所受的离心力逐渐变小，于是新矮星又渐渐地靠近红巨星。当它进入红巨星的包层之后，在新矮星绕红巨星核心旋转的过程中，由于它离红巨星的外层氢气较近，特别是它有多个卫星直接浸入红巨星的外层氢气，当这些卫星绕着新矮星旋转时，可以携带大量的氢气到新矮星上来，使这些氢气融入了红巨星与新矮星的共有包层，并为新矮星上的热核反应提供燃料。

另外，由于太阳绕银心黑洞旋转，当共有包层的双星靠近这个大质量黑洞时，因受到潮汐力的过度拉扯，双星的共有包层会被撕裂，这些被黑洞撕裂的包层以高速度离开双星，导致角动量损失，最终使共有包层的双星收缩为一个白矮星和一个热亚矮星，其中热亚矮星是在其氢气层被剥夺后进行氦聚变的发热新星，且随着白矮星的进一步收缩，热亚矮星也渐渐地远离白矮星，并慢慢地吸收轨道附近的氢气，如图3所示。



图3 一个白矮星及其被环绕的热亚矮星搅乱的大气层

三、一般双星的形成与演化规律

宇宙星空中存在大量的双星，但有的恒星却还没有伴星，这是因为这些恒星系还很年轻。伴随着一个恒星上热核反应的进行，恒星爆发活动频繁发生，恒星不断抛射耀斑碎片和日冕物质到宇宙空间，这些抛射物质可被恒星系中的行星和卫星吸收，因此有一个类木行星成为了该恒星系中质量较大的行星。正是该类木行星对恒星两极具有较大的作用力，当它靠近恒星时就能通过万有引力的作用从恒星极地气旋拖出黑子气旋，将它们散布到恒星上，然后等待恒星上的行星牵引星云物质给这些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。由于行星牵引给黑子气旋的巨大云团被大大压缩，因此恒星的转速不断加快，在恒星自转产生的离心力的作用下其行星的轨道向外扩展，特别地类木行星的轨道也向外扩展，其近日点距离也在递增，但不需要等待类木行星的近日点距离扩展到当前近日点距

离就能使类木行星的卫星移动适当距离，使类木行星变成一个周围可以启动热核反应的新矮星。

随着类木行星近日点距离的增加，它从其恒星的极地气旋中拖出的黑子气旋的数量减少，另外，随着其他行星的轨道向外扩展，它们带给太阳黑子气旋的氢气也越来越少，使得恒星越来越难以吸收足够的氢气来维持其热核反应。此外，当类木行星成为一颗新的矮星时，也需要利用黑子气旋进行热核反应，需要抢占太阳系所在空间的氢资源。当恒星无法吸收足够的氢气来维持恒星内部的热核反应时，就会打破核聚变辐射压与自身收缩引力的平衡，恒星内部氦核收缩并变热，氢外壳向外膨胀并冷却。随着恒星内部氦核收缩，其自转加速，氢外壳受到离心力的作用向外漂移，使恒星膨胀为红巨星，这一阶段可能延续几万年。红巨星的体积可达到恒星的几倍甚至上百倍。随着红巨星的膨胀，其自转逐渐减速，绕着红巨星旋转的新矮星所受的离心力逐渐变小，于是新矮星又渐渐地靠近红巨星。当它进入红巨星的包层之后，在新矮星绕红巨星核心旋转的过程中，由于它离红巨星的外层氢气较近，特别是它有多个卫星直接浸入红巨星的外层氢气，当这些卫星绕着新矮星旋转时，可以携带大量的氢气到新矮星上来，使这些氢气融入红巨星和新矮星的共有包层，并为新矮星上的热核反应提供燃料。

另外，由于恒星绕其中心黑洞旋转，当共有包层的双星靠近这个大质量黑洞时，因受到潮汐力的过度拉扯，双星的共有包层会被撕裂，这些被黑洞撕裂的包层以高速度离开双星，导致角动量损失，最终使共有包层的双星收缩为一个白矮星和一个热亚矮星，如图4所示，其中热亚矮星是在其氢气层被剥夺后进行氦聚变的发热新星，且随着白矮星的进一步收缩，热亚矮星也渐渐地远

离白矮星，并慢慢地吸收轨道附近的氢气。

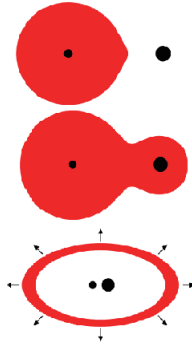


图4 双星共有包层演化过程

四、晚年恒星演化的其他几种形态

晚年恒星的演化还要经历黑矮星、超新星、中子星、黑洞和类星体等多种形态，具体见作者以前发表的论文。

五、总结

过去，人们主要通过粗略地观察天体和天体现象来研究天文学，缺乏观测的精确性、连续性、系统性和逻辑性。因此，观测结果和理论研究常常是一知半解、模糊不清。为此，本文作者根据双星共有包层演化理论和潮汐瓦解理论提出了双星的形成与演化理论，并在这个基础上揭示了恒星的形成与演化的一般规律，特别地详细描述了晚年恒星演化的其他几种形态。

参考文献

- [1]Han Zhanwen. Binary Population Synthesis[J]. Research in Astronomy and Astrophysics,2020, 20(10):161.
- [2]Jia-jia Li,Jian-ping Xiong, Zhi-jia Tian, Chao-Liu, Zhanwen Han, Xue-fei Chen. Identify Main-sequence Binaries from the Chinese Space Station Telescope Survey with Machine Learning. II. Based on Gaia and GALEX [J]. The Astronomical Journal (2025).
- [3]Li Zhenwei, Chen Xuefei,Ge Hongwei, Chen Hai-liang and Han Zhanwen. Influence of a mass transfer stability criterion on double white dwarf populations [J]. A&A 669, A(82) (2023).
- [4]Jarrod R. Hurley, Christopher A. Tout and Onner R. Pols. Evolution of Binary Stars and the Effect of Tides on Binary Populations [J]. Mon. Not. R. Astron. Soc. 000, 1, 36(2000).
- [5]Pollack J B, et al. Formation of the giant planets by concurrent accretion of solids and gas[J]. Icarus, 1996, 124:62-85.
- [6]Laughlin, G.; Bodenheimer, P.; Adams, F. C. The End of the Main Sequence [J]. The Astrophysical Journal, 1997, 482: 420.
- [7]Dixon D, Tayar J, Stassun K G. Rotationally Driven Ultraviolet Emission of Red Giant Stars[J]. The Astronomical Journal, 2020, 160(1):12.
- [8]Sollerman J, et al. Late-time observations of the extraordinary Type II supernova iPTF14hls [J]. Astronomy and Astrophysics, 2019, 621.
- [9]T Tauris. Neutron Star Formation and Evolution – Singles, Binaries and Triples [C]. 40th COSPAR Scientific Assembly, held 2-10 August 2014, in Moscow, Russia.
- [10]MG Haehnelt, G Kauffmann. The Formation and Evolution of Supermassive Black Holes and their Host Galaxies. Springer Berlin Heidelberg , 2001:364-374.
- [11]Wu, XB, et al. An ultra luminous quasar with a twelve-billion-solar-mass black hole at redshift 6.30 [J]. Nature, 2015, 518(7540): 512-515.
- [12]Cuixiang Zhong.The Formation and Evolution Law of Stars and Quasars[J]. Journal of Physical Science and Application 15 (1) (2025) 1-15.