

突破传统行星理论

和木星类似,飞马座51b是一颗气态巨行星,但它的轨道离宿主恒星太近了。有多近?地球到太阳距离的二十分之一。

离太阳最近的行星是水星,上面根本没有水,白天时是一片极端炎热的世界,飞马座51b离其宿主恒星比水星离太阳还要近得多。

“这是一个与直觉相悖的发现。飞马座51b超越了传统行星形成和演化理论。”南京大学天文与空间科学学院谢基伟教授介绍,人类认识行星,就是从研究太阳系的八大行星开始的。内太阳系有水星、金星、地球和火星,它们体积和质量较小,属于岩质行星,也称类地行星。外太阳系则分布着木星、土星、天王星、海王星这四颗气态巨行星和冰巨星。

为什么太阳系呈现出这种“内小外大”的构型?经典的行星形成理论提出了“雪线”的概念。

正如地球上的高峰都有一道鲜明的“雪线”,在雪线以下,降雪就难以形成积雪。太阳系的雪线大致在火星和木星之间,即小行星带的位置。在雪线以外,水汽凝结成冰,能够更快地形成足够大的固态核心,并不断加速吸附气体等物质,最终形成巨行星。雪线以内受恒星活动影响更大,不仅难以形成较大的固态核心,可供吸附的物质也较少。

环境如此恶劣,飞马座51b何以安居恒星的“卧榻之侧”?就好比大火炉的旁边怎么可能放得住一个大雪球呢,分分钟就融化了。

为了解决种种矛盾和谜题,一个全新的行星类型——热木星,被划分出来。

谢基伟说,热木星的发现堪称天文学上的里程碑。它为人类打开了一扇新世界的大门,拓展了人类对行星的认知边界,飞马座51b的两位发现者也于2019年获得诺贝尔物理学奖。

截至目前,人类已发现6000多颗系外行星,其中有数百颗是热木星。尽管前人已经对热木星做过不少研究,但它们到底如何形成、如何演化,仍有不少问题留待解答。

热木星也“三迁”

为什么热木星会出现在它本不该出现的位置,目前天文学界的主流观点仍倾向于在传统理论的基础上“打补丁”,也就是认为热木星还是在远离恒星的寒冷地带形成的,只不过在某种机制作用下迁移到了离恒星极近的轨道。

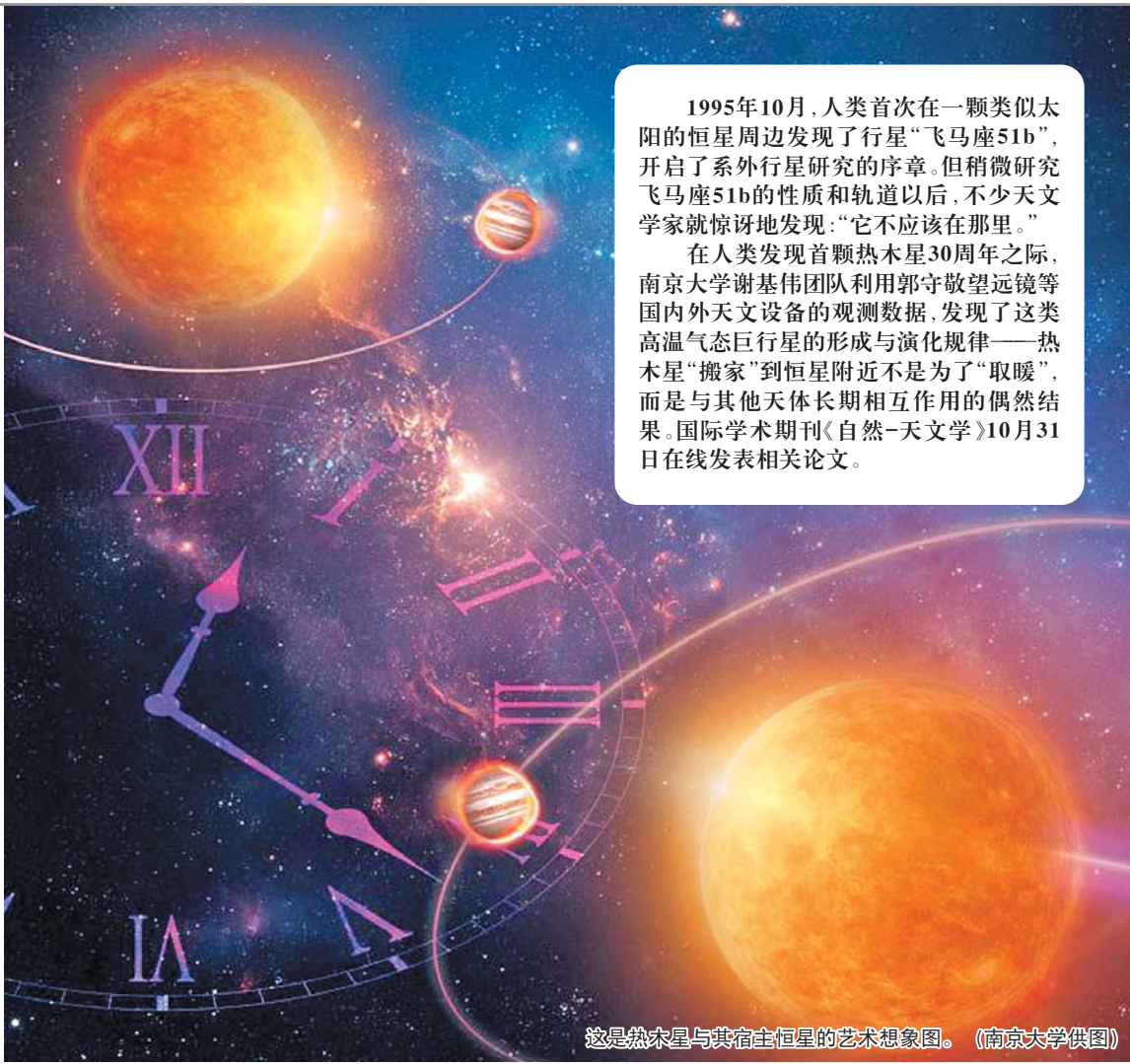
具体是什么机制,天文学界莫衷一是,大致有三种模型。

首先是“盘迁移模型”,认为气态巨行星形成后,与原行星盘相互作用,在此过程中,行星消耗了自身的能量,被拉向恒星,根据该模型的测算,实现轨道迁移只需几百万年。

其次叫“散射迁移模型”,认为原行星盘消散后,各大行星近距离交汇,犹如一场大型交通事

『大火炉』之侧岂容『大雪球』,热木星『搬家』不是为了取暖

我国天文学者揭开热木星轨道『内迁』之谜



这是热木星与其宿主恒星的艺术想象图。(南京大学供图)

故,导致一些行星被“排挤”到恒星附近,形成热木星。理论上,这种迁移的速度比盘迁移慢,但基本可以在1亿年内完成。

此外还有“长期混沌”等机制,轨道内迁用时更漫长,可能需要上亿乃至数十亿年。

原来热木星也有“三迁”。谢基伟所领导的国际研究团队,目标就是想精确地测算出这几种迁移机制分别贡献了多少热木星。

如何下手呢?谢基伟在热木星与宿主恒星的年龄上找到了突破口。

由于离宿主恒星太近,热木星都处于“潮汐锁定”的状态。月球就被地球潮汐锁定,永远以同一面对着地球,热木星也是如此。在潮汐耗散作用下,热木星逐渐失去轨道角动量,不断向恒星跌落,最终被恒星撕裂、吞噬。

因此,年龄越大的恒星系,出现热木星的概率应该越低。

2023年,谢基伟团队小试牛刀,根据74颗热木星的观测数据,首次发现热木星的出现率确实随着恒星系的年龄增长而下降。

虽然这只是一个定性的结论,却解决了困扰研究人员20多年的问题——1999年,哈勃望远镜曾对准球状星团,试图以其强大的光学成像能力探测到热木星,结果却一无所获。现在回头看原因很简单,当时的研究人员忽视了年龄这个要素。球状星团虽然是一片稠密星区,但其中不少恒星已经上百亿岁,即便曾经存在热木星,绝大多数也会因为潮汐作用而湮没在恒星的辉光中。

这一次,谢基伟团队利用中国郭守敬望远镜和欧洲航天局“盖亚”空间探测器等国内外天文设备的观测数据,将样本扩大到123颗热木星,得出了更加精确的定量分析结论。

结果显示,随着恒星年龄增

长,热木星的出现率并非一成不变地匀速下降,而是“分段衰减、前慢后快”,以20亿年为拐点,在此之前减少得慢,后期减少得快。

进一步研究发现,热木星分为“早来族”和“晚来族”,而且“早的很早,晚的很晚”。前者约占六成,在宿主恒星形成的最初几千万年内便已“内迁”;剩下约四成“晚来族”,则是在接下来上亿乃至数十亿年的漫长岁月里,与其他天体长期相互作用,通过“长期混沌”机制偶然被输送到恒星附近的。

研究团队还对比了两大族群的“身份特征”,发现“晚来族”更喜欢出现在金属元素丰富的恒星周围,且其轨道面与恒星自转轴存在显著夹角。这些特征完美印证了“长期混沌”机制的理论假设,强有力地证明该机制正是“晚来族”的主要来源。

“天文学上将所有比氢和氦重的元素统称为金属。我们知道恒星绝大部分物质是氢和氦,它们进行核聚变,就会产生更重的元素。”谢基伟说,“初代恒星完全由氢和氦组成,它寿终正寝时,会通过爆炸释放出体内所有的物质,包括聚变产生的金属元素,这些金属元素与其他星际物质共同孕育下一代恒星。因此,如果一颗恒星的金属丰度偏高,说明它是‘晚辈’。”

谢基伟告诉记者,此次研究产出的定量结果将用于优化以往的热木星迁移模型,还可用于预测一些恒星附近是否存在热木星。

穿越过去,看到未来

10月31日,谢基伟团队将上述研究成果以论文的形式发表在国际学术期刊《自然-天文学》上。这也是团队“行星的空间分布和年龄演化”研究计划近5年来发表的第7

篇系列成果。

“行星的空间分布和年龄演化”英文缩写为PAST,直译为“过去”,但谢基伟重新起了一个中文简称——“穿越”。

“我们觉得‘过去’可能听起来有些消极的含义,实际上天文学研究的就是过去,几万甚至几十亿年前的光,跨过遥远的宇宙,触达我们的视网膜,让我们得以看到过去,这不就是‘穿越’吗。”谢基伟说。

近几年,团队依托中国郭守敬望远镜的大样本巡天优势,相继构建了包含数千颗系外行星的时空数据库,开展了各类行星系统的普查和统计研究,并在揭示热木星和极短周期行星演化规律方面取得了重要研究成果。

此次热木星定量研究的价值,也远不止绘制几张图表、发表一篇论文那么简单。在谢基伟看来,更深层的意义在于识人明己、鉴往知来。

尽管热木星与地球的性质相去甚远,但研究热木星是如何被恒星拉近、潮汐锁定,再一步步耗散、吞噬的,也能够推测太阳进入红巨星阶段以后,水星、金星、地球的命运。

谢基伟表示,团队计划将研究范围拓展到其他行星类型,通过分析恒星系统中的岩质行星如何形成、演化,不仅能“看到”地球的未来,还有助于寻找其他宜居行星。

就在10月31日当晚,神舟二十一号载人飞船发射升空。“我们现在还在使用欧洲航天局‘盖亚’空间探测器拍摄的数据,今年3月它已经退役了。不久的将来,我国也会发射我们中国人自己的空间望远镜,届时,我们将有更有力的工具去搜寻地球这样的系外行星,解开更多行星演化的奥秘。”谢基伟满怀期待。

据新华社

编辑:武俊 组版:侯波

报料电话:13869196706 欢迎下载齐鲁壹点 600多位在线记者等你报料

报纸发行:(0531)85196329 85196361 报纸广告:(0531)85196150 85196192 文字差错投诉:(0531)85193436 发行投诉:4006598116 (0531)85196527 邮政投递投诉:11185 全省统一零售价:1.5元 邮发:23-55 广告许可证:鲁工商广字01081号 地址:济南冻源大街2号 大众传媒大厦 邮编:250014 大众华泰印务公司(大众日报印刷厂印刷(济南市长清区玉皇山路1678号)