

LAMOST 助力揭示热木星随时间的演化规律



近日，科研人员基于 LAMOST 和欧洲盖亚（Gaia）等望远镜的观测数据测定了热木星的年龄分布，首次得到了热木星出现率（即恒星周围平均有多少热木星）随时间的演化规律，给出了热木星长期潮汐演化的大样本观测证据，为定量揭示恒星潮汐耗散因子和热木星的形成机制提供了新的途径。该研究成果的论文发表在《美国科学院院刊》（2023,PNAS,120,45）。

热木星是大小与木星相近，但是轨道周期很小（一般不超过 10 天），且非常接近其宿主恒星，因而表面温度很热的一类太阳系外行星。1995 年，第一颗热木星——飞马座 51b 被发现，它的发现者也因此荣获 2019 年度诺贝尔物理学奖。目前，已发现的热木星达到数百颗，它们的存在挑战了之前人们基于太阳系建立起的标准行星形成和演化理论。虽然经历了近三十年的研究，但是热木星的形成和起源仍然是一个既困扰又吸引天文学家的谜题。

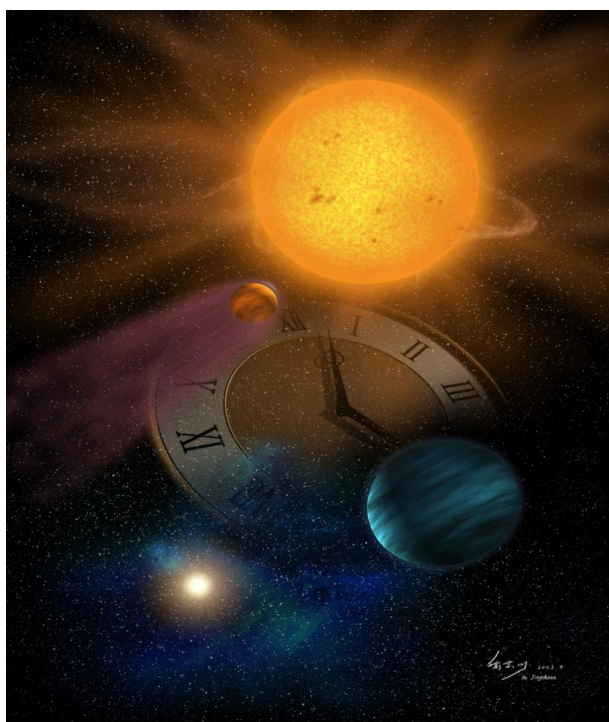


图1：热木星（上）和温冷木星（下）随宇宙时钟（中）演化的艺术想象图。

目前主流理论认为热木星最早形成于距离中心恒星较远的雪线（水在真空中开始凝结为冰的位置，太阳系中的雪线距离太阳约 2.7 个日地距离。）以外，然后通过某种机制迁移到当前位置。天文学家认为迁移机制主要有两种：一是在与原行星盘的相互作用下向内迁移（即盘迁移模型）；二是在伴星或其它行星的引力作用下被激发到高偏心率轨道而到达宿主恒星附近（即高偏心率迁移模型）。

区分上述模型的关键是两种机制的作用时标不同：盘迁移模型发生在原行星盘消散之前，即数百万年内；而高偏心率模型是在原行星盘消散后，并且轨道偏心率的激发时标可达数千万年乃至数十亿年。此外，热木星距离宿主恒星很近，受到很强的潮汐作用。在宿主恒星的潮汐力下，热木星会逐渐失去轨道角动量而向主星靠近。经过足够长的时间，一些热木星甚至会进入宿主恒星大气，被宿主恒星瓦解吞噬。因此通过研究热木星的年龄分布和时间演化，可以为揭示热木星的形成和潮汐演化提供关键线索。

研究团队首先借助 LAMOST 和 Gaia 的观测数据对行星系统的宿主恒星的运动学参数做了精确刻画，发现相比于更长周期的类木行星（温冷木星），热木星的宿主恒星的运动速度更小，位于银河系薄盘中的数量比例也更大。之后，利用估计年龄的运动学方法，研究团队得到了热木星和温冷木星的运动学年龄，发现热木星的年龄比温冷木星约小 20 亿年（见图 2），也就是说热木星倾向于围绕在更为年轻的银河系薄盘恒星周围。

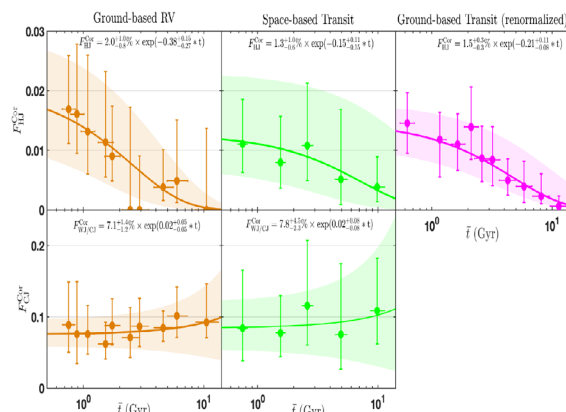
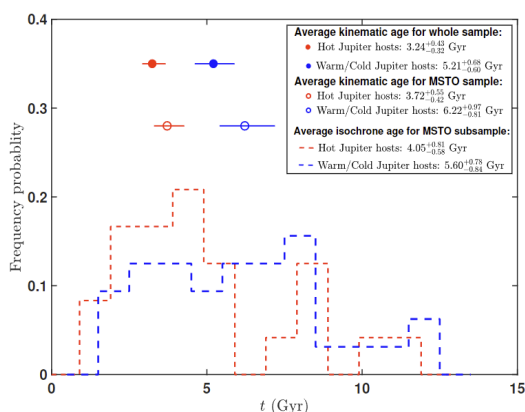


图2：热木星和温冷木星的运动学年龄对比（红色点和蓝色点及误差棒）；图3：热木星（上）和温冷木星（下）的出现率随年龄的演化规律。左、中、右分别为视向速度样本，空间凌星样本，地面凌星样本的结果。

通过进一步修正观测选择效应，研究团队首次定量得到了热木星和温冷木星的出现率随年龄的演化规律。他们发现热木星的出现率随年龄增长而下降，而不同年龄温冷木星的出现率差别不大（见图 3）。这个发现与热木星受恒星潮汐作用而轨道不断衰减的理论预期是一致的。

该研究给出了热木星长期潮汐演化的大样本观测证据，为定量揭示恒星潮汐耗散因子和热木星的形成机制提供了新的关键线索。此外，研究团队新发现的热木星出现率随年龄的演化规律，同时也帮助解释了之前长期存在的视向速度巡天和凌星巡天给出的热木星出现率不一致问题，以及热木星在年老的球状星团中的零发现问题。

南京大学谢基伟教授、周济林教授和北京大学东苏勃研究员是成果的共同通讯作者，南京大学陈迪昌博士是该成果的第一作者。研究团队还包含南京大学杨佳祎博士、朱紫教授与清华大学祝伟助理教授、国家天文台刘超研究员、罗阿理研究员、向茂盛研究员、中国科学院大学黄样副教授、意大利恩利克·费米研究中心王海峰博士、北师大张敬华博士以及美国犹他大学郑政教授。

该成果是基于 LAMOST 数据在研究“系外行星的空间分布和年龄演化”（简称“穿越”）方面发表的第五篇文章，更多“穿越”系列的后续工作正在进行和准备中。

文章链接：<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2304179120>

研究人员发现早型 M 型恒星是寻找系外行星的绝佳目标

近期，国家天文台李广伟副研究员、国家天文台与北京师范大学联合培养博士生哈斯特尔·哈尔肯等人利用 LAMOST 光谱数据，同时结合 Gaia、2MASS 和 WISE 测光数据对 M 型年轻恒星进行了系统研究，发现早型 M 型恒星（质量大于 0.35 倍太阳质量）拥有行星的概率更大，而质量小于 0.35 倍太阳质量的 M 型恒星虽然拥有行星的概率较小，但也可以拥有类木星行星。该成果已被国际学术期刊《天体物理学报》(ApJ) 接收。

M 型矮星是银河系中最常见的恒星。已有的研究结果显示，M 型矮星几乎占有所有恒星总数的 3/4，其中约 1/7 的 M 型矮星拥有宜居带行星，因此 M 型矮星应该拥有绝大多数宜居行星。但是在小质量 M 型矮星周围，目前只发现了数量极少的类木星行星，且当前的理论也无法给出解释。

M 型恒星为何具有如此多的行星？小质量的 M 型矮星周围为何不容易形成大质量的类木星行星？为了回答上面两个问题，李广伟等人利用 LAMOST 光谱数据，结合 Gaia、2MASS 和 WISE 测光数据对 M 型年轻恒星的星周盘进行了系统研究，他们发现这些 M 型年轻恒星的完整盘（含有丰富气体和尘埃的初期星周盘）具有如下两种演化模式（见图 4）：

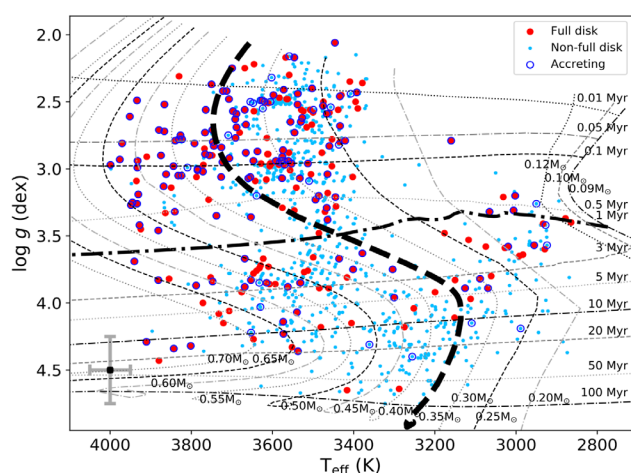


图 4 M 型年轻恒星的完整盘 (full disk) 和非完整盘(non-full disk)的演化图。图中横的粗线是 100 万年的等年龄线，竖的粗曲线是 0.35 倍太阳质量的等质量线。

大多数年龄也能超过 100 万年，有的甚至能存活到 2000 万年。这就为行星的形成提供了充分的物质和时间保障，从而更容易形成行星。

因此，研究团队认为：质量大于 0.35 倍太阳的 M 型恒星更容易拥有行星；质量小于 0.35 倍太阳的 M 型恒星也可以拥有类木星行星，但数量很少；由于缺少物质，小质量的恒星无法成长为质量更大的恒星。总之，研究团队认为质量大于 0.35 倍太阳质量的早型 M 型恒星是寻找系外行星的绝佳目标。文章链接：<https://arxiv.org/abs/2311.05206>

(一)对于质量小于 0.35 倍太阳质量的有星周盘的 M 型恒星，当其年龄小于 100 万年时，80%的恒星没有完整盘，说明它们的星周盘一开始就缺少气体和尘埃，因此形成行星的概率比较小；但是，其余 20%具有完整盘的 M 型恒星，其完整盘有的甚至可以存活到 500 万年，这样保证了充分的时间和物质形成类木星行星。

(二)对于质量大于 0.35 倍太阳质量的 M 型恒星，它们出生时几乎都有完整盘，

观测运行部工作情况

11 月，LAMOST 共观测了 125 个天区。理论观测时间为 330 小时，实际观测时间为 225.9 小时，占理论观测时间的 68.4%。受兴隆观测站天气原因*影响，共 88.7 小时未能观测，占理论观测时间的 26.9%。望远镜仪器故障时间为 15.4 小时。

（天气原因*：包括雨雪、大风、阴天、沙尘、多云等）

科学巡天部工作情况

- ✓ 二维光谱数据处理分析软件的运行和维护；
- ✓ 光纤定位闭环系统的功能测试，并准备在正式巡天中测试运行；
- ✓ 完成正式巡天日常观测计划的制定，11 月实际观测计划执行情况如下：
低分辨率非时域天区：19 个 VB 天区；
低分辨率时域天区：26 个 BM 天区；中分辨率天区：73 个；测试天区：7 个；共计 125 个。

（VB 代表 10m-14m 及部分 14m-15m 的较亮天区；BM 代表 14m-17.8m 的天区。）

数据处理部工作情况

- ✓ 一维光谱数据处理分析软件的运行和维护；
- ✓ 基本完成“LAMOST 天体光谱权威数据库”项目，为结题做准备；
- ✓ 梳理用户反馈的意见，计划增加数据产品并启动在线分析工具的研发。

技术维护与发展部工作情况

主动光学和 MA 机架跟踪电控系统日常自检测试和维护；MA 子镜和 MB 子镜测试片、子镜镜面和 6 块金基紫外增强型反射测试片的清洁维护及反射率测量；MA 镜罩轨道及镜室框架清洁维护、光纤端面的清洁等；镀膜超净间空调系统维护和镀膜机的维护保养等。

力促动器维修和电控检测；焦面姿态光学复核和调整；焦面像场旋转零位光学复核等。

光谱仪日常自检和像质维护；16 台光谱仪低、中色散切换和调整及像质自检测试等。光纤定位单元控制电源维护；焦面侧移导轨维护，现场设施的维护及配合巡天观测。



LAMOST 运行和发展中心

Center for Operation and Development of LAMOST Telescope