

陨石成分两极化 探秘太阳系 “童年”往事

仰望星空,或有美丽流星划过夜空。一群进行太阳系考古的学者,要从陨石中捕捉各种蛛丝马迹,尝试推演太阳系漫长历程中的一幕幕尚不为人知的故事。浙江大学物理学院研究员刘倍贝正是这群人中的一员。

4月22日,《科学进展》刊发刘倍贝与丹麦哥本哈根大学和瑞典隆德大学学者合作新成果,研究者从陨石同位素含量两极化的现象入手,推演了太阳系形成最初的五百万年间发生的故事。研究者指出,原行星盘气体的外流是一双“看不见的手”,它参与了早期太阳系的塑造,影响了小天体和行星的形成。刘倍贝及合作者据此构建了早期太阳系天体形成的新模型。

解密早期太阳系的形成和演化

研究者要推演的历史,聚焦于太阳系诞生之初的五百万年,这是太阳系的童年期。“陨石保留着太阳系童年期的原始信息。”刘倍贝说,“我们可以通过对陨石的研究,解密探索早期太阳系形成和演化的过程。这有点像破案,需要大胆的想法和缜密的推理,把不同的案发线索串联起来,还原事件的真相。”摆在刘倍贝等学者面前的确实有一桩“大案”:陨石的同位素含量存在明显的两极化,泾渭分明的现象。

从物质成分上,陨石可分为炭质陨石和非炭质陨石。炭质陨石含有更多的挥发性物质,包括含碳有机物和水等,而非炭质陨石则含有更多的难熔性金属元素。

学界认为,这种的差异源于陨石的母体形成时的位置。“原行星盘越靠近太阳的位置,温度就越高,挥发性物质含量就越低,以非炭质固体物质为主;越远离太阳,温度越低,以炭质物质为主。”刘倍贝又从最近的研究中发现了一条新线索:这两类陨石的同位素含量也大相径庭。

“没有发现任何一块陨石处于中间地带。”刘倍贝说,这种两极化的现象令天文学界尤为惊讶。根据同位素测年法,陨石的形成时间横跨整个原行星盘阶段,它们吸积的固体物质通常而言是相互流通的,它们在组分上应该呈现一定的连续性,然而真实观测则是两极化。

“它在告诉我们什么呢?”刘倍贝说,两极化的现象提示了在原行星盘中可能存在大尺度、长时间的物质隔离,这是人们在研究太阳系早期演化中碰到的一大难题。

木星开沟真的塑造了早期的太阳系?

长时间、大尺度的物质隔离,让人联想到空间隔绝的可能性。会不会有一种力

量,让原行星盘形成了彼此相互隔离的区域?有学者提出,这种力量来自于太阳系中的大兄长气态巨行星木星,即“木星开沟”理论可以用来解释陨石成分两极化的现象。

他们认为,木星的固体核在太阳系诞生之初的一百万年内形成,它凭借其巨大的质量和强大的引力,在气体盘中开一个深沟,完全阻断后续固体颗粒的内流,内外盘的固体物质自此隔绝。最近几年的天文观测也捕捉到了“巨行星开沟”的证据。

“木星开沟真的塑造了早期的太阳系吗?”刘倍贝提出了质疑。最大的疑点来自于形成于内盘的两种非炭质陨石,普通球粒陨石(OC)和顽火辉石球粒陨石(EC)。

“如果木星真在气体盘中开一个深沟而完全阻断后续固体颗粒的内流,则内外盘的固体物质自此隔绝。那么内盘非炭质固体颗粒物会因快速迁移而消耗殆尽。这样一来,普通球粒陨石(OC)和顽火辉石球粒陨石(EC)的母体就没有可以吸积的非炭质固体颗粒,就无法长大了。”刘倍贝说。陨石测年研究表明,O型和E型球粒陨石形成于太阳系诞生后的两到三百万年间,这说明,非炭质固体颗粒物还是能长时间流通且存在于内盘区域。

相反地,如果木星开的沟不够深,就不能有效地阻挡固体颗粒的迁移,内外盘的物质还是流通的,就无法导致两类陨石同位素的两极化现象。“我们发现,‘木星开沟’很难自洽地同时解释太阳系陨石形成年龄和同位素含量这两大观测。”刘倍贝说。

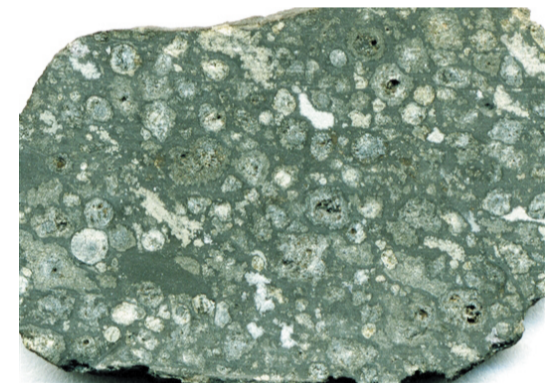
重新审视太阳系的童年

还有什么物理机制解释陨石的两极化呢?刘倍贝提出了一种全新的想法,从时间演化上的隔绝来解释陨石同位素的两极化。

在太阳系的童年时期,原行星盘中的固体颗粒因会源源不断从外盘区域迁移流向内盘。刘倍贝和他的合作



非炭质普通球粒陨石



炭质球粒陨石

者提出,研究这一过程应该充分考虑原行星盘中气体的运动,这一点在过去的工作中被忽视了。气体盘中的流体遵循着动量守恒原则,盘内侧区域的气体向内流,最后被太阳吸积。与此同时,外盘的气体向外流,不断地扩充着盘的外部疆域。“就像涨潮的海水,不断地向外吞噬岸边的沙滩。”刘倍贝说。

考虑原行星盘气体外流效应之后,他们重新对盘内固体颗粒物的迁移状况进行了模拟,结果显示:在盘外气体外流的推动下,固体颗粒物的迁移速率和方向发生改变。它们最终进入内盘的时间被大大延长了。

“我们发现,初始位于25个日地距离(AU)以外的炭质固体颗粒需要经过三百万年才会最终迁移进入内盘类地行星形成区。”刘倍贝说。

刘倍贝用了一张图表形象地展示了这一“复盘”:不同时期、不同位置的陨石母体以及它们的同位素含量的差异。“重要的是,该模型预示着不同陨石的同位素差异并不是空间上的隔绝,而是形成时间上的演化。”刘倍贝说。

早期,位于内盘的火星

和地球吸积的是非炭质固体颗粒。在约两至三百万年之后,炭质颗粒最终迁移进入内盘。此后地球和火星吸积炭质物质长大,因而它们的同位素含量是两大类固体物质的混合。这也自洽地解释诸如观测上的火星和地球的同位素含量是介于这两类陨石之间。

刘倍贝说,从现有的观测出发,并不能对木星的形成时间给出更严格的限制。现今的木星位于距太阳5.2 AU处,木星形成的位置学界有两种假说。一种认为木星为原位形成,成长过程中没有大尺度的轨道迁移。另一种认为木星形成于外盘较远处(10AU之外)。

“我们的模型更支持后者。”刘倍贝说,因为木星大气中发现的诸多易挥发性元素包括碳、磷、氮和氩其含量均比太阳高出数倍之多,这一现象很难被原位形成理论解释。

此外,木星质量增长之余也与气体盘相互作用,产生向内的轨道迁移。木星内移过程中不断地散射沿途的炭质陨石母体进入内盘,产生了现今太阳系小行星带的特有的群体分布和轨道构型。

相关链接

天文学家: 太阳系消失时间 或早于预期

我们知道,所有恒星终将熄灭,包括太阳。太阳“死亡”时,将把大部分物质喷射进太空,只留下一个致密的核,形成一颗白矮星。随着时间推移,这颗白矮星将逐渐冷却,最终成为冰冷、漆黑的岩石。

没有人能亲眼目睹这件事发生,因为彼时地球已不存在了。但这件事究竟会于何时发生呢?太阳系的其他行星能存活下来吗?几个世纪以来,物理学家和天文学家一直在尝试回答这些问题。美国《天文学杂志》近日公布的预测结果显示,太阳系行星消失的时间将比我们预想的早得多——大约在1000亿年后,彼时将只留下“垂死的”太阳。

美国加利福尼亚大学洛杉矶分校天文学家乔恩·津克、加州理工学院的康斯坦丁·巴特金和密歇根大学的弗雷德·亚当斯在文章中写道:“了解太阳系的长期动态稳定性是天体物理学领域最久远的任务之一,可以追溯到牛顿时期。据牛顿推测,行星之间的相互作用最终将导致太阳系不稳定。”

然而,进行必要的计算比想象的要复杂得多。事实上,这个动态系统中的天体数量越多,情况就越复杂,预测其行为的难度也将上升。

早在1999年,天文学家就预测太阳系将在至少100亿亿(10的18次方)年间慢慢分崩离析。据天文学家估计,100亿亿年正是木星和土星轨道共振“解耦”天王星所需的时间,那将是最末日的开端。

津克团队称,这一估算结果并未考虑到某些重要影响因素,而这些因素可能导致太阳系更早失衡。

无论如何,有一件事可以肯定:当这一切发生时,人类已经灭亡很久了,不会有人亲眼目睹这一切。

据《中国科学报》、新华社客户端