

## “天外来客”讲述太阳系“童年”故事

◎洪恒飞 周炜  
本报记者 江耘

5月31日,我们将迎来武仙座流星雨。一颗颗流星划过夜空,带给我们一场视觉盛宴。但其实流星的背后,还可能包含着解开太阳系身世之谜的种种线索。在天文学家眼中,流星是来自太空的信使,帮助好奇的人类了解宇宙的奥秘。他们试图从陨石中捕捉各种蛛丝马迹,揭开藏在

太阳系漫长演化历程中的种种谜团。

近日,《科学·进展》杂志刊登了浙江大学物理学院研究员刘倍贝与丹麦哥本哈根大学、瑞典隆德大学学者的联合研究成果——从陨石同位素含量两极化的现象入手,推演太阳系形成之初500万年间发生的故事。

他们提出,原行星盘气体的外流像一双“看不见的手”,参与了早期太阳系的塑造,影响了小天体和行星的形成。据此,他们构建出早期太阳系天体形成的新模型。

### 陨石成分不均是关键线索

让我们将时间线推回到太阳系诞生后的500万年,彼时的太阳系正处“童年期”,太阳周围环绕着一个扁平的气体圆盘。这个气体圆盘被称为原行星盘,它就像是行星们的共同“摇篮”,其中漂浮的固体颗粒可被成长中的行星所吸积。

太阳系里的小行星、彗星或行星撞击后产生的碎片即陨石,它们的母体也形成于同一时期、同一“摇篮”——原行星盘。科学家可以通过对陨石进行研究,探索早期太阳系形成和演化的过程。

按照物质成分,陨石可分为碳质陨石和非碳质陨石。碳质陨石含有更多的挥发性物质,包括含碳有机物和水等;而非碳质陨石则含有更多的难熔性金属元素。

学界认为,这种差异源于陨石的母体形

### “时间隔绝”让陨石同位素两极化

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,这一理论或许可以解释陨石成分两极化的现象。

“木星开沟”理论提出,木星的固体核在太阳系诞生之初的100万年内形成,它凭借其巨大的质量和强大的引力,在气体盘中开了一个“深沟”,完全阻断了后续固体颗粒的内流,内外盘的固体物质自此隔绝。

刘倍贝对这一观点存在疑问,如果木星真在气体盘中开一个“深沟”,完全阻断了后续固体颗粒的内流,那么内盘非碳质固体颗粒物会

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,主要物质是非碳质固体物质;越远离太阳的位置,温度越低,主要物质是碳质物质。”刘倍贝指出,这两类陨石的同位素含量也大相径庭。

刘倍贝介绍,根据同位素测年法,陨石的形成时间横跨整个原行星盘存在的阶段(约为太阳系诞生之初的500万年间),它们吸积的固体物质通常而言是流通的,因此它们在组分上应该呈现出一定的连续性。然而真实的观测结果则是这两类陨石的同位素呈现出两极化,这一现象令天文学界尤为惊讶。

刘倍贝解释道,这种两极化的现象意味着在原行星盘中,可能存在大尺度、长时间的物质隔离。

因快速迁移而消耗殆尽。这样一来,普通球粒陨石和顽火辉石球粒陨石的母体就没有可以吸积的非碳质固体颗粒,也就无法长大。

研究表明,这两种球粒陨石形成于太阳系诞生后的两到三百万年间,说明非碳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,内外盘的物质还是可以流通的,就不会出现两类陨石同位素两极化的现象。“‘木星开沟’很难同时解释我们得到的太阳系陨石形成年龄和同位素含量这两大观测数据。”刘倍贝说。

还有什么物理机制能解释陨石同位素的

## 极光:地球电离层与磁层之间的“光之纽带”

◎於益群

近日,国外科学家发现,太阳风与火星电离层的作用导致了火星弥散极光的出现,弥散极光是极光中的一类,在地球上也非常常见。

一般来讲,太阳活动高峰年的时候更容易出现极光。同时,太阳黑子数与地磁活动指数(表征极光活动强度的数值)之间的对应关系表明极光是如何产生的,黑子数多的时候,极光的强度也明显增大。梦幻般的极光,可以说是地球磁层与电离层之间的“光之纽带”。

### 极光是如何产生的

极光是因高能带电粒子进入大气层时轰击大气层中的分子或者原子产生的。

具体来讲,高能带电粒子撞击大气层原子或分子时,被原子核束缚的电子在获得能量后,从稳定的基态跃迁到能量较高的激发态,但并不足以脱离原子核的束缚而逃离。当这个处在激发态的电子由于其不稳定性而回落到基态时,会以光子的形式释放出能量。能道之间的能量差决定了光波的频率。当光波的频率落在可见光范围内,就成为我们看得见的极光了。

### 粒子从何而来

这些带电粒子从何而来?要知道,地球电离层外的磁层是地球磁场与太阳风相互作用而形成的,其内部存在着分布在不同区域的不同类型粒子。比如地球附近的等离子体层是比较冷的等离子体聚集地,这些等离子体充斥于电离层外2—5个地球半径范围内;等离子体片分布于距离地球4—10个地球半径以外的赤道面附近;极尖区的等离子体则存在于一个漏斗状的区域,是太阳风粒子进入磁层和电离层的通道;另外,还有辐射带、环电流等粒子分布区。

这些区域内的带电粒子充斥着整个磁层空间,都是进入大气层的粒子来源。若以发生区域对极光进行分类,可以分为3类:发生在日侧高纬地区的极光,来源粒子主要是经由极尖区进入,起源于太阳风与磁层的相互作用;发生在夜侧较低纬度地区的极光,主要是由来源于等离子体片的粒子激发;发生于更低纬度区域的极光,是由来源于环电流的粒子所激发。

除了激发作用,这些粒子对地球大气层也有电离作用。电离指的是电子彻底脱离原子核的束缚而逃离。大气层发生电离的原因主要有:太阳辐射和从磁层进入大气层的沉降粒子。太阳辐射不同波段的光波,具有不同的能量。比如紫外线能电离大气层中的分子和原子。

研究人员提出,原行星盘气体的外流像一双“看不见的手”,参与了早期太阳系的塑造,影响了小天体和行星的形成。他们从陨石同位素含量两极化的现象入手,推演太阳系形成之初的500万年间发生的故事,并据此构建出早期太阳系天体形成的新模型。

极化?有别于“木星开沟”导致的“空间尺度的隔绝”,研究人员尝试从时间演化上的隔绝来解释这一现象。

在太阳系的“童年期”,原行星盘中的固体颗粒会源源不断从外盘区域迁移流向内盘。研究人员提出,对这一过程的研究,应该充分考虑原行星盘中气体的运动,这点在过去的工作中被忽视了。

原行星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,不断地扩充着原

### 勾勒太阳系“童年期”的画像

根据此次研究中指出的原行星盘气体外流效应,3位研究人员重新“复盘”了太阳系“童年期”原行星盘内固体物质的演化:在太阳系诞生之际,原行星盘内的固体颗粒分布呈现较为明显的两极化,靠近太阳位置的内盘以非碳质固体颗粒为主;远离太阳的外盘以碳质固体颗粒为主。在外盘的固体颗粒流入内盘之前,内盘非碳质(包括无球粒陨石、普通球粒陨石和顽火辉石球粒陨石的)母体们靠吸积耐火物质(熔点较高的难熔性物质)而形成。

与此同时,外盘的碳质球粒陨石母体靠吸积碳质固体颗粒逐渐长大。在约两至三百万年之后,碳质颗粒最终迁移进入内盘。

“行星形成早期,位于内盘的火星和地球吸积的是非碳质固体颗粒。在约两至三百万年之后,碳质固体颗粒最终迁移进入内盘。此后地球和火星吸积碳质固体颗粒成长,因而它们的同位素含量是两大类固体物质的混合。”刘倍贝说,这也解释了观测上的火星和地球同位素含量介于这两类陨石之间的现象。

若以发生区域对极光进行分类,可以分为3类:发生在日侧高纬地区的极光,来源粒子主要是经由极尖区进入,起源于太阳风与磁层的相互作用;发生在夜侧较低纬度地区的极光,主要是由来源于等离子体片的粒子激发;发生于更低纬度区域的极光,是由来源于环电流的粒子所激发。

除了太阳辐射,磁层粒子沉降可以进一步引起大气层的电离。引起极光的粒子,就可以引起高度在100—200公里大气层的有效电离。

### 磁层和电离层之间的其他联系

当然,除了极光这一纽带之外,磁层和电离

层的外部疆域。“就像涨潮的海水,不断地向外吞噬岸边的沙滩一样。”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:在外盘气体外流的推动下,固体颗粒物的迁移速率和方向发生了改变,它们最终进入内盘的时间被大大延长。

“我们发现,诞生之初位于25个日地距离以外的碳质固体颗粒,需要经过300万年才会最终迁移进入内盘类地行星形成区。”刘倍贝说。

刘倍贝说,从现有的观测出发,我们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个日地距离处,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,距太阳大于10个日地距离。

“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挥发性元素如碳、磷、氮和氢,其含量均比太阳高出数倍之多,这一现象很难用原位形成理论解释。相反,如果木星内核形成于行星盘外部较冷的区域,以上易挥发性元素均以固态的形式存在,它们被木星内核吸积后可外溢进入木星的大气层,产生我们所观测到的元素增产。

此外,木星质量增长之余也与原行星盘相互作用,产生向内的轨道迁移。木星内移的过程中,不断地通过引力散射作用将沿途的碳质陨石母体送入内盘,产生了现今太阳系小行星带特有的群体分布和轨道构型。

层之间还通过其他形式,比如通过等离子体对流、场向电流、电离层粒子逃逸等形式紧密联系在一起。

首先是等离子体对流的关联性。太阳风与地球磁场作用后形成磁层,在南向行星际磁场的作用下,日侧磁层顶发生磁重联,磁力线重新连接并且在太阳风的作用下往夜侧运动。在夜侧磁尾磁重联再次发生,从而使磁力线拓扑结构再次变化。闭合的磁力线往地球方向运动,并回到日侧。在磁运动过程中,因为等离子体冻结在磁力线上,磁层里的等离子体对流同样出现在电离层。因此,在高纬地区等离子体从日侧向夜侧运动,随后从低纬返回日侧,形成了两个对流圈。

第二个联系方式是通过场向电流关联。场向电流从磁层流入电离层,再从电离层流出来进入磁层,是磁层和电离层的桥梁,传输着彼此之间的能量和物质。

第三种联系方式是通过电离层粒子逃逸进入磁层而关联。前面几种联系方式均为磁层往电离层输运能量,是磁层对电离层发生作用。而相反地,电离层对磁层的影响则是通过粒子外流。电离层的粒子密度较大,这些粒子往太空逃逸,进入磁层,是磁层里面等离子体的主要来源物质。

(据中国国家天文公众号)

### 亮点追踪

主持人:本报记者 张晔

### 矮星系碰撞可能撞“飞”暗物质



近日,一篇发表在《自然》杂志上的文章显示,一个天体物理学家团队提出了一种新的理论,来解释无暗物质矮星系的存在。

2018年,科学家发现了一个似乎不包含暗物质的矮星系(不存在可探测的引力),2019年在相同的位置又发现了一例。从那时起,科学家就一直试图解释这种奇怪的现象。

在此次最新研究中,研究人员发现,当星系团碰撞时,暗物质和普通物质会在大尺度上出现分离的现象。研究人员认为,两个矮星系的碰撞可能会剥离其中包含的气体,形成更小的矮星系,其中一些矮星系便有可能不存在暗物质。这是因为,暗物质不与任何普通物质发生相互作用,这就意味着暗物质可能会随着碰撞的碎片离开矮星系进入外太空。

研究人员注意到,在此前发现的两个不包含暗物质的矮星系附近,还存在着几个矮星系,它们在太空中排成一排,这可能是矮星系碰撞导致的结果,且这两个矮星系正在相互远离,很可能表明了它们有着相同的起源。

### 谷神星也许是小行星带的“移民”



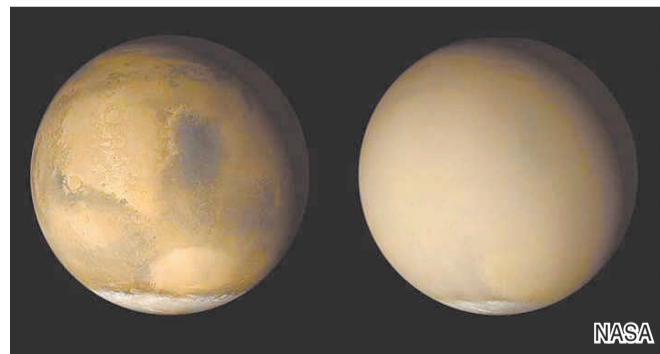
1801年,天文学家朱塞佩·皮亚齐发现了位于小行星带上的谷神星,那时他认为它是一颗行星。2006年,谷神星被正式定义为矮行星。

但为什么矮行星却位于小行星带上?近日,一篇新的研究文章给出了解释:谷神星并非形成于小行星带,它诞生于太阳系更远的地方,然后迁移到了目前的位置。

谷神星直径约1000公里,其质量占小行星带总质量的三分之一。它有一个逃逸层,阳光将谷神星水冰和氨冰升华成蒸汽,但谷神星的引力太弱,无法留住它们。不过,这也是了解谷神星起源的重要线索,因为小行星通常不会释放蒸汽,由于谷神星像彗星一样冻结了挥发物,这表明它起源于太阳系较冷的区域。

“氨冰的存在表明谷神星很可能形成于太阳系最冷的区域,在那里温度足够低,导致一氧化碳、二氧化碳、氨等挥发性气体被冻结和融合。”研究人员猜测,谷神星最开始形成于土星之外的轨道上,那里氨含量丰富。在巨行星生长阶段,行星巨大的引力干扰或改变了原行星盘的密度、压力和温度等,这种扰动可能导致行星迁移到离太阳更远的轨道上,这就是为什么谷神星作为外太阳系的“移民”,会被拉进小行星带。

### 能量收支不平衡或致火星沙尘暴



近日,一项新的研究表明,火星吸收和释放太阳能量的不平衡,可能是火星沙尘暴产生的原因之一。

来自美国休斯顿大学的研究人员记录了火星能量收支(火星从太阳吸收能量,然后以热量的形式释放出来)的极端不平衡。研究人员认为,火星能量收支不平衡,可能是火星沙尘暴产生的机制之一。

火星稀薄的大气层和椭圆的轨道使其特别容易受到巨大的温差影响。当它位于近日点时,由于靠近太阳,火星吸收了大量的太阳热量,火星沙尘暴也同时出现。同样的现象也发生在地球上,但在火星上尤为极端。

研究人员表示,火星不像地球那样有能储存能量的机制,如地球广阔的海洋有助于平衡气候系统。但火星过去曾经存在过海洋和湖泊,后来经历了全球变暖和气候变化,不知为何又失去了海洋和湖泊。同样的气候变化也正在地球上演,所以了解火星能量过剩与沙尘暴之间的机制,可能会为更好地了解地球提供线索。

相关研究成果发表于《美国国家科学院院刊》。