

太阳系为何如此与众不同

——新理论详解木星“大转向”造就系内第二代行星

本报记者 常丽君 综合外电

在水星、金星、地球和火星还未形成的很早以前,太阳系内可能有着许多超级地球般的行星,比地球更大,但比海王星要小。如果真是这样,它们早已消逝——在几十亿年前粉碎并被太阳吞噬。这一切,主要是因为,在太阳系的早期历史上,木星曾经有过一次先向内迁移,然后向外的“大转向”。

发表在美国《国家科学院学报》网站上的一篇研究论文提出,木星曾像个碾压机一样横扫了早期的太阳系,破坏了第一代系内行星,然后才退回到它目前的轨道上。天文学家近年来发现了数百个系外行星系统,与它们相比,我们的太阳系是如此地与众不同。

与众不同的太阳系

“目前,在天空背景上我们能看到自己的太阳系,还有许多其他的行星系统,一个最有趣的特点是,水星的轨道以内没有行星。”该论文合著者、美国加州大学圣克鲁兹分校天文与天体物理学教授格雷戈里·拉弗林说。“在我们的银河系中,标准的行星系统就像是一套超级地球,它们的轨道周期短得令人吃惊。我们的太阳系才是越看越古怪。”

根据近年来对系外行星的研究,在银河系中,约有一半的类日恒星都有行星环绕。“恒星猎人”计划已探测到1000多颗围绕系外恒星公转的系外行星,包括将近500个有多个行星的恒星系。从这些观察中,科学家能总结出“典型的”行星系统的样子:由许多质量超过地球几倍的行星(超级地球)组成,它们绕主恒星的轨道半径比水星到太阳的距离要近得多。在有着像木星那样的巨行星的系统中,那些巨行星也比我们太阳系中的巨行星离它们的主恒星更近。

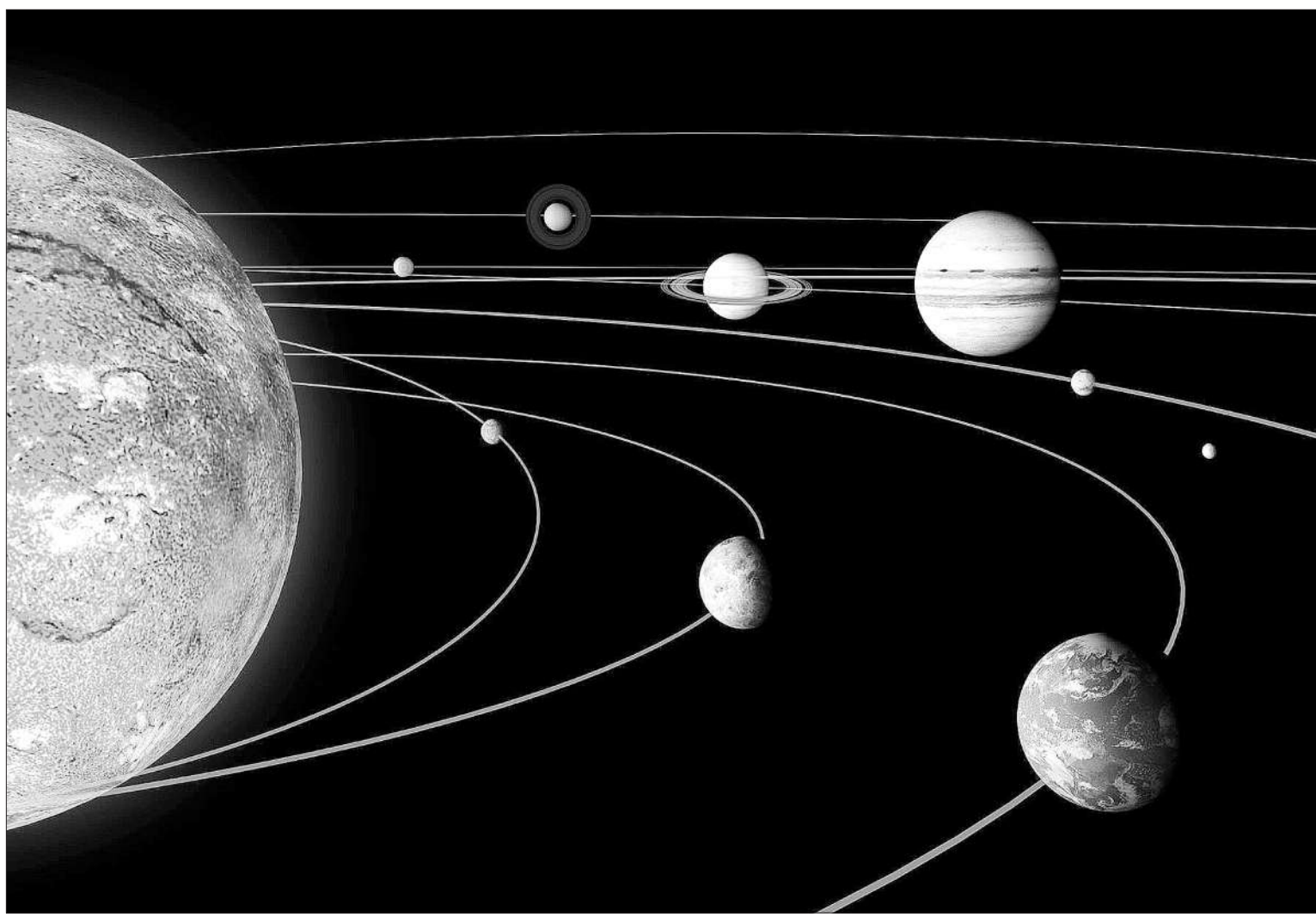
而在太阳系中,水星轨道内只有些零星碎片,可能是近地小行星进一步向内运动的结果,但肯定是没有行星的;我们的岩石行星的质量更小,大气层更薄,这些都和其他大部分恒星系形成了鲜明对比。

最近,美国加州理工大学的行星科学家康斯坦丁·巴蒂金和拉弗林借鉴以往的研究假说,通过计算和模拟,为早期太阳系描绘了一幅新画面,有助于回答许多悬而未决的关于目前的太阳系和地球本身的构造问题。比如,为何太阳系内部留下了“张开的洞”?为何地球及其他内部岩石行星形成的时间比外部行星更晚?与其他恒星系的行星相比,为何我们太阳系的类地行星的质量相对较小?

“确实,在银河系的行星系统中,我们现在的太阳系看起来并不具有普遍代表性。相反,我们是个例外。”巴蒂金说,“但没有理由认为,太阳系没有按照整个银河系主流的行星形成模式发展,更可能的是,后来的变化改变了它最初的构造。”

远古的木星“大转向”

早在2001年,英国伦敦玛丽皇后大学一个研究小组就提出了“大转向”假说,2011年法国尼斯天文台的另一个研究小组再次提出这一观点。按照这一假说描述的情景,在太阳系早期的最初几百万年里,建造行星



的原始材料——星子——还嵌在由气体和尘埃组成的厚厚的吸积盘里,围绕着相对年轻的太阳。木星质量变得越来越大,其万有引力的影响也越来越大,在盘中清出一条路来。当时太阳拉着吸积盘的气体向自身聚集,木星也开始向内飘移,就好像行进入一个巨大的传送带上。

“木星在传送带上不断进行着,最终将会掉进太阳,如果不是因为土星的话。”巴蒂金解释说。土星在木星之后形成,但被拉向太阳的速度更快,使它赶上木星。一旦两个大质量行星靠得足够近,它们就会形成一种固定关系,叫做轨道共振,这样它们的轨道周期是成比例的。比如在一个2:1的轨道共振中,土星围绕太阳转两圈的时间,木星只能转一圈。在这种关系中,两个天体会彼此施加万有引力影响。

“共振允许吸积盘上的两个行星开放共同通道;它们开始玩这种游戏,彼此交换角动量和能量,几乎保持同一个节奏。”巴蒂金说。最终,这种来回互动清空了二者之间的所有气体,在一个逆行迁移方向的位置,把它们向太阳外拉扯。在“大转向”描述的情景中,行星先向内迁移,随后戏剧性地改变行程,就像一条船绕过了一个航标。

在早期的由加州大学洛杉矶分校的布莱德雷·汉森开发的模型中,在一系列特定的环境条件下,类地行星顺利地终结在它们现在的轨道上,并有着现在的质量——其中一个条件是,在太阳形成后1000万年,所有的构成太阳系内部行星的材料——星子——都碰巧“定居”在一个狭窄的圆环区域,从0.7到1个天文单位(1天文单位是一个平均日地距离)。

按照“大转向”理论设想,环区的外边界由木星划出,当它向着太阳运动时,就像在一条传送带上,在太阳系的吸积盘中清理出一条路来,一直到达地球目前的轨道。但它的内边界在哪儿?为何星子要被局限在环区内?这一问题还未解决!巴蒂金说。

扫荡第一代“超级地球”

按照拉弗林和巴蒂金的新解释,答案在于最初的超级地球——太阳系内部的空洞几乎刚好对应着其他恒星系中典型的超级地球所在的位置。如果在木星向内迁移之前,太阳系内部已经有了一套轨道更窄的岩石行星会怎样?那时候,太阳附近被致密的气体和尘埃围绕着,所以,不断形成有着深厚大气层的岩石行星也是合理的,在变成典型的“超级地

球”的过程中,它们就像许多绕着其他系外恒星公转的系外行星一样。

因此可以合理地推测,这一区域曾有过第一代行星群,它们没能幸存下来,在太阳系的早期历史中被清除了。太阳系之所以变成今天这个样子,木星是关键。

“这就像我们担心的卫星在近地轨道被破坏那样,它们的碎片可能会冲进其它卫星领域,引发碰撞连锁反应。我们的研究表明,木星可能就是在太阳系的内部,制造了这样一次连续碰撞事故。”拉弗林说。

巴蒂金和拉弗林研究了木星和土星的形成情况,并借鉴了“大转向”理论中的某些解释。拉弗林说,形成像木星这样的巨行星是非常罕见的,但在它形成时,巨行星通常会向内迁移,并在来到类似地球这样的轨道距离时停止。直到太阳系中形成了土星时,才把木星拉了回去,让水星、金星、地球和火星得以形成。

根据他们的计算模拟,随着木星向内移动,它把沿途遇到的所有星子都拉进轨道共振中,带着它们一起向太阳移动。在那些星子离太阳更近时,它们的轨道变成了椭圆形。“你不可能毫无代价地减小轨道半径,结果就会增加它们的长短轴比

例,”巴蒂金说。

那些新的、拉长了的轨道使这些星子大部分的轨道半径在100公里级别,扫过以前不能达到的盘区,引发了一连串的碰撞。巴蒂金的计算结果显示,在此期间,每个星子每隔200年就会与其它物体碰撞至少一次,碰撞造成的碎片残骸螺旋着飞向太阳,顶着来自致密气体的强大逆风,围绕太阳旋转。持续进行的碰撞雪崩会破坏任何新形成的超级地球,撞碎的残骸越来越多地飞进太阳。

他们做了一个最终模拟,以看看如果恒星系内部有着一群超级地球,当这一连串碰撞开始后,会发生什么情况。他们在已经熟知的开普勒-11(Kepler-11)恒星系中进行模拟。该恒星系内部有6个超级地球,总质量是地球的40倍,围绕着一颗类日恒星公转。根据模型预测,在一场持续超过两万年的星子碰撞雪崩中,超级地球都将被驱入类日恒星。

“这是个非常有效的物理过程,”巴蒂金说。“只要几个地球质量的材料,就能把相当于几十个地球质量的行星赶入太阳。”

太阳系的“星二代”

我们的太阳系也曾有过许多超级地球,地球属于第二代行星。这些“星二代”——水星、金星、地球和火星——是后来形成的,它们质量更小,大气层也更薄,因为当时可用的“造星”材料已经所剩无几。

巴蒂金说,当木星转向时,它携带的一些星子碎片会平静下来进入环形轨道。又经过几百万年时间,星子才聚集在一起,最终形成了类地行星。被木星扫荡后,只有约10%的物质留下来,构成了现在的水星、金星、地球和火星。“我们就是从这一混乱的残余残骸中形成的。”

“木星先后内外的航行可能摧毁了第一代行星,并形成了太阳系目前这一代质量较小的类地行星。”巴蒂金说,这与人们的观测证据——地球形成于太阳出生后的1亿至2亿年间——吻合地非常好。由于那时原来的氦氢气早已消失,这也解释了地球大气层中为何缺少氢气。

这也与太阳系内部行星比外部行星更年轻的证据相符。拉弗林说:“我们的理论预测之一是,真正的类地行星,有着固体表面和适中的大气压,是非常罕见的。”另一个预测是,这些有着轨道周期超过100天的巨行星的系统,不太可能承载多个近轨道行星。

“这种理论,某事发生一次之后又发生了一次,几乎都是错的,所以一开始我们对此也持怀疑态度。”他说。“但它确实包含了其他研究人员广泛涉及的一般过程。有许多证据支持‘木星先向内而后向外’移动的观点,我们深入研究了那些结果。对太阳系内原来的星体而言,木星的‘大转向’或许更像是一次‘大攻击’。”

这让太阳系变得与众不同,大部分系外行星都和太阳系不一样。据巴蒂金预测,大部分系外行星都是超级地球,它们的大气层中含有大量的氢气,因为在它们形成时,所在的行星盘还有大量的气体。“最终从本质上来说,这意味着像地球这样的行星并不常见。”

NASA 将要造访的五个太阳系胜地

本报记者 常丽君 综合外电

从金星探索到小行星观光,行星科学家们一直在梦想着各种发现之旅。今年秋天,美国航空航天管理局(NASA)将从28个探索太阳系的方案中选出三到五个,而最终的幸运者只有一个,将成为NASA最新的“发现”任务,在本世纪20年代的某个时间开始启程。

最近,《自然》网站列出了这些方案的主题。它们在3月被送达至NASA,这些任务的计划成本在4.5亿美元左右,任何一个都是该机构尝试探索太阳系项目中花费最低的。网站介绍了其中5个希望最大的“胜地”,并发起了一次投票,让人们选出NASA最应该去的地方。

1. 金星

在地球的众兄弟中,金星可能是受人们关注最少的。自从NASA的“麦哲伦”(Magellan)号任务结束后,美国行星任务再也没光顾过它。欧洲空间局的“金星快车”在2006年—2014年间造访过它;日本的“拂晓”(Akatsuki)号探测器将于今年12月第二次尝试进入金星轨道。

热情的“金星迷”提出了各种各样的任务,探索这颗太阳系中位列第二的岩石行星。其中许多任务要用雷达在轨道上穿透金星厚厚的云层,才能揭示其下面可能的炽热火山活动的景观。比如“真理号”(VERITAS)任务,是金星发射率(Venus Emissivity)、无线电科学(Radio Science)、干涉雷达地形测量(InSAR Topography)与光谱学(Spectroscopy)的缩写,将生成高分辨率的行星表面地图。让VERITAS反复飞过同一位置,可揭示金星地面有无改变,就像地球上的活火山和地震区那样。

2. 月球

从天文学上讲,月球是地球的邻居。已经有12个人在它上面行走过,还有什么要去发现的?貌似我们

对月球的知识已经相当丰富。

“发现”任务中有两个方案提出了高技术策略,把月球科学的问题具体化。其中一项称为“月球时代与土被勘探”(MARE),目的是在阿波罗宇航员的月表探索和实验室研究之间架起桥梁,这是地球科学家受限的地方。

MARE是一个岩石质的数据机,将放在月球近地面的早期的熔岩流中,利用矿物质的放射性衰变来检测熔岩年龄。这个航天器有望帮助研究人员解开月球表面复杂的编年史。

如果一个月球航天器不够,来上三打怎么样?纳米机群(The NanoSWARM)母舰将飞到月球上,放出一群称为“CubeSats”的小机器人,让其中一些去探索月球表面神秘的磁流,观察它们和太阳风是怎样相互作用的;让另一些冲进月球磁场异常区域的核心,在它们冲进去之前,探测器要能立刻开始检测这些磁场。

3. 火星卫星

自2001年起,NASA发射了7个航天器到火星上,但没有一个去到它的卫星——“福波斯”(火卫一)和“德莫斯”(火卫二)。

有三项任务把注意力放在了火星的卫星上。为何要探索火卫?因为没人确切地知道火星的卫星究竟是怎么来的。它们可能是45亿年前,形成火星后剩下的边角料;也可能是在更晚些时候,一颗大质量流星与火星相撞后留下来的碎片;还可能是被火星万有引力捕获的小行星或其他物质的碎片。

所有这三项任务的理念都是,通过探索“福波斯”和“德莫斯”,弄清楚它们的起源。其中一项提出一个环绕火星的航天器,让其对两个火卫做几次近低空飞越;另一项提出环绕两个火卫分别飞行,飞完一个再飞另一个;第三项则提出在“福波斯”上着陆,并在附近范围做观察检测。

4. 小行星

或许在“发现”任务的众多方案中,最激动人心的可能是小行星及其它小型天体。有些集中在特定的小行星,其中之一是拜访一个叫做“灵魂”(Psyche)的含有金属的石块,它或许能比拟地核。还有“双行星定位探测”(BASIX)任务,将在一对小行星的表面引发一个小爆炸,看看爆炸会对它们的万有引力运动造成什么影响。

其他的小行星方案则更多地落入了“伟大旅程”的套路。比如其中之一是参观9颗小行星——其中一些位于火星和木星之间的小行星带,另一些正危险地迅速飞近地球,研究是什么造成了它们和较大的小行星(如社神星和谷神星)之间的差异,目前NASA的“黎明”号正绕着它们飞行。

还有一项名为“露西”的提案,以标志性的人类骨骼命名,将飞到木星的“特洛伊”小行星,沿着行星的轨道路径绕行,要么在木星之前,要么在其后。对“特洛伊”的研究将揭示太阳系早期形成行星及其他天体的物质“化石”。

5. 行星火山

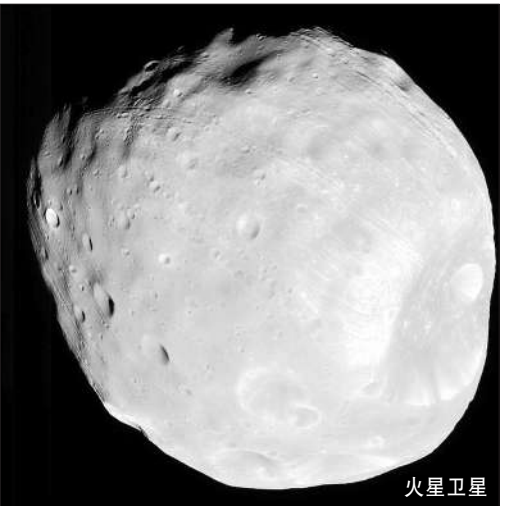
太阳系里最活跃的火山不在冰岛或夏威夷,它们在木星的卫星“伊娥”上,它有一层被木星强大的万有引力加热的地壳。

为了尽可能避免木星发出的危险辐射,“伊娥火山探测器”(IVO)任务将高高地飞在巨大的延长轨道上,在每个轨道上只有一次机会经过木星和“伊娥”。它将经过“伊娥”9次,昼夜给火山拍照。在2028年的新年夜,它将飞过贝利(Pele)火山的羽毛状喷射物。

迄今为止,设计的这次旅程的能源靠太阳供给,IVO上面将铺设一套巨大的太阳能电池板,以吸收尽可能多的太阳能。



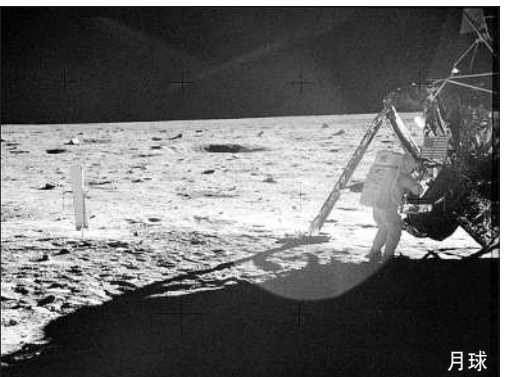
金星



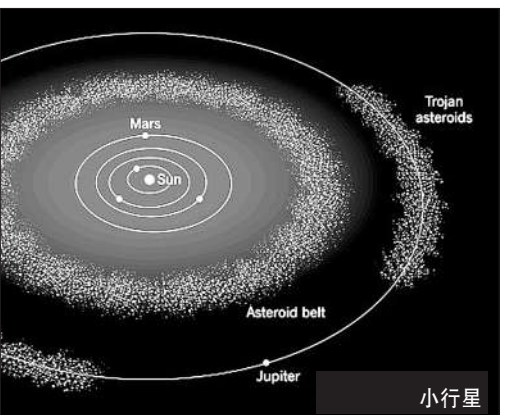
火星卫星



小行星



月球



行星火山