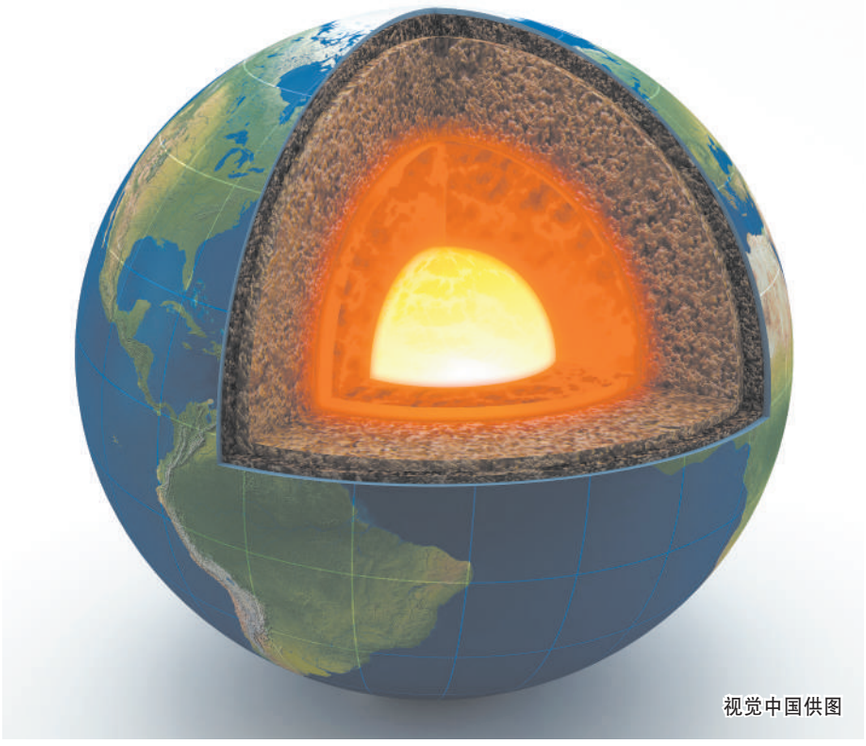
“表里不一”的地球：内核自转速率竟快于地表

◎本报记者 唐 芳

近日，美国南加州大学的研究团队重新分析了1969年和1971年2次地下核试验后近6年的地震波数据，发现地球内核自转速率在1969—1971年比地球整体慢了0.1度，而在1971—1974年又比地球快了0.29度。这标志着科学家首次通过地震学观测，验证了地球内核6年周期往复振荡的理论。

为何地球内核与地球的旋转速度会不一致？宇宙中其他天体也存在这种现象吗？科学家又是如何“透视”天体内部情况的？

是什么导致了地球内核的差速旋转？专家指出，在外部力矩作用下，地球内核会相对于地幔转动，使得内核自转与地球的自转速率不一样。这个外力可能来自地球磁场与内核的耦合及地幔与内核的重力耦合。


视觉中国供图

地球内核被称为“星球内的星球”

很多人认为，地球应是一个整体，内核的旋转速度和方向应该和地球保持一致。可是事实却非如此。“地球从诞生伊始发生了多种动力学过程，如星子汇集聚合、沉积分异、岩浆海和地壳冷却等，这使得地球整体由外向内出现了地壳、地幔、液体外核、固体内核等类似洋葱或煮熟鸡蛋那样的分层结构。”中国科学院国家天文台研究员平劲松表示。

地球物理学家、北京大学讲席教授宋晓东对科技日报记者表示，地球作为一个天体，是整体自转的；但是根据以往的观测，地球内核自转与地球自转在速率上稍微有点差别，这就是内核的“差速旋转”。因此，地球内核也被称为“星球内的星球”。最新数据显示，地球与地球内核的转动速率每年相差大约0.1度，不过这个速率很可能随时间而变化。

是什么导致了地球内核的差速旋转？宋晓东指出，在外部力矩作用下，地球内核会相对于地幔转动，使得内核自转与地球的自转速率不一样。这个外力可能来自地球磁场与内核的耦合及地幔与内核的重力耦合。理论上，内核自转既可以比地球自转快，也可能稍慢。

记者了解到，目前地核研究的主流理论模型认为，地球内核的转速是恒定的，地球自转存在一个约6年（5.9年）的周期震荡。在解释6年周期震荡机理方面，科学家给出了包括地球内部地磁异常、核幔耦合振荡、地球内核震荡等多种推测。

不过，在本世纪初，平劲松所在的研究地球自转固体潮汐的团队使用长期固体潮汐监测数据发现了11.5—12年的地球内核振荡周期，这个周期与木星的轨道周期一致。“地球自转5.9年的周期变化，正是木星公转周期的一半。”平劲松认为，正是木星协同太阳合相作用在地球壳、幔上力矩大小的周期变化，引起了地球内核自转速率的变化。

“地球内核的自转速度或许会稍快于地幔，但是速率会一直保持恒定。而地壳和地幔的自转因受到内部和外部的力矩、荷载等因素影响，转速会出现时快时慢或相对方向变化的现象。”平劲松说，多重因素作用下，导致地球自转变化不可简单预测、预报。

平劲松指出，除了地球之外，内部结构与地球类似的伴星如月球，以及金星、火星和气体行星的卫星、矮行星等，其自转也会发生时快时慢或方向变化的现象。

其中，人类已利用地月激光测距技术对月球自转周期的变化持续观测了约50年；近几年，火星的自转变化也被“洞察”号上的星地微波链路所证实。

法国图卢兹天体物理和行星研究所博士后李刚补充道，恒星内部圈层间也存在自转速度的差别，被称作“较差自转”。天文学家发现，小到白矮星、中子星等，大到星团和星系都存在较差自转。以太阳为例，在深度为0.7个太阳半径处，有一个厚度为0.04个太阳半径、被称作“差旋层”的区域，以这里为界线，太阳的自转情况发生了急剧变化：在差旋层以里，太阳的较差自转不是很明显；而在差旋层以外，太阳在不同深度和不同纬度都呈现出非常明显的较差自转。

天体“气质”与其内核密切相关

所有行星内核都存在差速旋转机制吗？平劲松介绍，行星的内核主要有3种类型，分别为固体核、液体核以及液体外核与固体内核的组合体。地球的内核归属于第三类，既包括一个巨大的液体外核，又含有一个富含铁镍的固体内核。

固体核与液体核的行星“气质”各不相同。平劲松指出，固体核的行星，其核心的转动与行星整体保持同步。而液体外核，液体或半液体核幔边界的行星，其固体内核或固体核的转动可以与幔不同步。

一个拥有液体内核的行星，极大可能是处于行星形成的早期阶段，其自身的转动有点像一个旋转着的生鸡蛋，转速较快且方向和转速都不稳定；随着能量耗散衰减、分层固化，自转速度逐步减慢和稳定。

那么，恒星的内核又是什么样子的？李刚表示，恒星通常有一个正在核反应燃烧的内核。不过，不同年龄的恒星内核差别也很大。他举例道，太阳这类正值壮年的恒星，有着燃烧氢元素的内核；而年老的恒星，有的内核可能已停止燃烧，但存在一层围绕内核燃烧的包层；有的可能内核被再次点燃，继续燃烧氦元素或者更重的元素；还有的可能最终走向死亡，只留下一个燃烧殆尽、慢慢冷却的内核。

“恒星内核的性质直接决定了恒星的外貌。”李刚解释说，相比于太阳，年老的恒星大多温度低但明亮；而已经死亡的恒星，如白矮星和中子星则显得暗淡但温度高。

借助震动波透视天体内核

科学家是如何透过天体表面，探测天体内核旋转方向的？

宋晓东告诉记者，一直以来，科学家通过地震波来探测地球内核的多种物理特性。他解释道，地球发生地震之后会产生地震波，地震波会向地球深部传播，研究地震波的传播速度等性质，可以了解地球深部的结构分层及运动状况。

宋晓东及其团队于1996年首次观测到了地震波通过地球内核时的时间和速度产生了变化，从而推测出地球内核是相对于地幔发生旋转的。不过，地球内核的旋转速率目前仍有不确定性，因为旋转速率本身也很可能在变化。

平劲松指出，利用地震波探测天体内部的方法十分普遍，19世纪科学家就用它对地球分层结构进行了探测；20世纪70年代美国月球探测任务用地震波探测月球的内部分层构造；近年来，欧洲火星探测任务将其用于探测火星的内部构造。

对于恒星，天文学家更难以直接观测到恒星内部的结构，于是他们借助“星震学”来探测恒星内部。

李刚表示，星震学与地震学很类似，都是通过研究天体内部的震动波来推断天体的内部结构，有点像日常生活中我们通过“拍西瓜”来判断瓜熟不熟。但是星震与地震的不同之处在于，星震是持续不断的震动，而地震只是偶然发生。恒星的震动波会局部压缩气体，从而造成恒星温度和亮度的变化。基于这一特性，天文学家通过长时间监测恒星亮度的变化来观测恒星的震动，并测量震动的频率。

恒星震动的频率会因其内部不同物理过程的扰动而有所变化。“打个比方说，熟西瓜和生西瓜用手拍一拍，听到的声音也不相同。”李刚说，天文学家通过高精度的频率测量和细致的物理模型推演，来计算恒星内部旋转速率、元素分布等不同物理特性。

比如对恒星年老后形成的红巨星，天文学家通过分析一些红巨星的震动信号发现，红巨星有着非常强烈的较差自转现象，其内核自转速率一般比表面快数十倍。

给月球撞出两个大坑的神秘物什么来头？

◎本报记者 唐 芳

近日，美国亚利桑那州立大学月球勘测轨道飞行器照相机（LROC）项目团队宣布，他们通过对比拍摄于2月28日和5月21日的月球高分辨率影像，在月球表面发现了被撞出的两个大坑，两个坑直径分别为16米和18米，且有部分重合，属连环坑，撞击位置在月球背面的赫茨普龙环形山。

就在今年3月4日，一个重约3吨的飞行物撞上月球背面。“天文学界普遍认定该飞行物为火箭残骸，但至今‘没人认领’，现在又发现了‘一撞两坑’。”6月27日，深圳大学教授黄少鹏对科技日报记者表示。

“天外来客”或是火箭残骸

到底是什么“天外来客”造成了这样的撞击坑？

据悉，北京时间2022年3月4日20点25分，一个重约3吨的飞行物以每小时9290公里的速度，冲撞上月球背面的赫茨普龙环形山。

黄少鹏表示，深空探测运载火箭残骸坠落月球，早在阿波罗时代就发生过多次。人类探索太空以来，运载美国阿波罗13号、14号、15号和17号的土星5号火箭的第三级都曾坠落到月球表面。

但让人不解的是，箭体残骸坠落一般只会出现一个撞击坑，阿波罗运载火箭残骸坠落形成的也都是单一的撞击坑。黄少鹏解释说，这是因为火箭箭体一头是发动机，另一头是燃料罐，燃料耗尽后便是空的，因此重量较轻，只有发动机一头是重的。

在黄少鹏看来，这个飞行物在月球上撞出了两个坑，表明它很可能是一个“两头重”的家伙。

7年前首次发现该飞行物

早在2015年3月14日，美国卡塔琳娜巡天系统（Catalina Sky Survey）首次发现了该飞行物。

起初，发现者认为该飞行物是一颗近地小行星，并赋予其编号WE0913A。但一位巴西天文学家在分析了这个物体的飞行轨迹后发现，该物体是在环绕地球而不是环绕太阳的轨道上运行，因而判断它可能不是一颗天然小行星，而是人造太空垃圾。

黄少鹏表示，这个编号WE0913A的飞行物是在地球轨道上被发现的，所以被认定是人造的。但它与大多数人造卫星或太空垃圾不同的是，其轨道与地球的距离很远，所以一开始才会被误认为是小行星。

“当初被发现时，该飞行物跟月球一样都围绕着地球运行，各行其道。但由于它的轨道距离地球很远，也就可能运行到距离月球比较近的区域。一旦这个飞行物‘机缘巧合’下进入月球引力的‘势力范围’，就可能被月球捕捉，最终坠落到月球表面。”黄少鹏给出了他的分析。

“从2015年发现该飞行物到2022年的撞击，这个‘机缘巧合’花了7年多时间。”黄少鹏说。

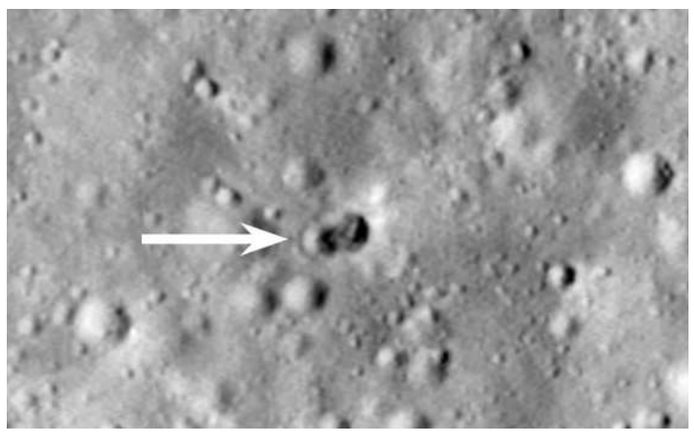
飞行物归属成谜

今年1月，美国天文学家比尔·格雷预报，WE0913A将于2022年3月4日撞击月球背面。

随着预报的坠落时间越来越近，这个话题逐渐开始升温。格雷曾推测，这个飞行物是猎鹰9号运载火箭的残骸。因为2015年2月11日，美国商业航天公司——太空探索技术公司（SpaceX）曾使用猎鹰9号运载火箭为美国国家海洋和大气管理局发射了深空环境观测卫星。格雷还利用相关的计算软件，预测了这个在地球高轨道上运行的飞行物将被月球捕获并撞击月球。

但美国国家航空航天局（NASA）的专家在核对了相关轨道数据后指出，深空环境观测卫星与月球的距离太远，它的运载火箭残骸不可能落入能够被月球捕获的轨道区域。

对于此次发现，LROC项目团队表示，该飞行物的起源目前仍不确定，但是连环坑这一特征可能有助于科学家在将来确认它的身份。


图中箭头所指为2022年3月4日撞击事件形成的两个新的撞击坑 NASA

天闻频道

我科学家针对“三体问题”提出求解周期轨道路线图

◎江倩倩 本报记者 王 春

近日，上海交通大学教授廖世俊和其博士生杨宇，以及暨南大学副教授李晓明，通过将“机器学习”（一种从数据中分析获得规律，并利用该规律对未知数据进行预测的算法）与其发明的一种极高精度的数值算法相结合，提出了求解“三体问题”（即三个可视为质点的天体在相互引力作用下的运动规律问题）周期轨道的路线图，为获得“三体问题”海量、精确的周期轨道铺平了道路。相关论文发表在《新天文学》杂志上。

牛顿的万有引力理论能够准确预测两个互相吸引的天体之间的运动规律——它们的轨道基本是椭圆形的。但如果有3个天体，其运行有何规律？科幻作家刘慈欣在其科幻小说《三体》中虚构了一个“三体世界”，向公众科普了牛顿1687年提出的这个著名的“三体问题”。小说中，“三体人”生活的行星在一个由3颗恒星组成的三体系统中运行，这3颗恒星的运动毫无规律，“三体人”的天空时常出现2个、3个太阳，又或者1个太阳也没有，导致“三体人”的星球不定期发生生命灭绝事件，“三体文明”不断经历毁灭与重生。

为什么三体系统的周期轨道如此难找？1890年，法国科学家庞加莱发现，三体系统的运动轨道对初始条件非常敏感，且三体系统各个天体运动的轨道通常不是周期性的。这种轨迹对微小扰动的敏感性，在1963年被美国科学家劳伦茨再次发现，为了形容它，劳伦茨提出了著名的“蝴蝶效应”。这种敏感性的发现，也标志着混沌动力学的诞生，它与量子力学、相对论一起，被认为是20世纪最伟大的三大物理理论。

理论上讲，正是因为“三体问题”本质上的混沌性，导致采用传统的数值方法很难在一个较长时域内获得三体系统的准确轨道。

2009年，廖世俊提出一个获得混沌动力系统收敛轨迹的策略——精准数值模拟（CNS）。CNS能将数值误差降到任意小，从而可获得混沌系统足够长时间内收敛的数值解，在理论上为准确获得三体系统的周期轨道铺平了道路。

基于CNS，2017年廖世俊团队成功获得等质量三体系统的695类周期轨道；2018年廖世俊团队与上海交通大学物理和天文学院教授景益鹏合作，应用CNS进一步成功获得两个质量相等的三体系统1349类全新的周期轨道。

2021年，廖世俊与李晓明等人合作，以一个已知的、具有3个相同质量天体的三体系统周期轨道为基础，成功应用CNS获得该三体系统任意不等质量的135445个周期轨道，将三体系统的周期轨道数量增加了几个数量级，证实了CNS求解任意质量三体系统周期轨道（特别是长周期轨道）的有效性。

2022年，为了进一步大幅提高计算效率，廖世俊、李晓明、杨宇3人将CNS与机器学习结合，提出了一个获得“三体问题”周期轨道的路线图：从用传统方法获得的、很小质量范围内的周期轨道出发，基于机器学习和CNS，一步步地获得更大质量范围内的精确周期轨道，直至找到该类周期轨道中所有不同质量的精确周期轨道。最后，对于（存在周期轨道的质量区域内）任意质量的三体系统，机器学习都能足够精确地预测其周期轨道的初始条件与周期。

求解“三体问题”周期轨道路线图的提出，证实了CNS求解复杂混沌问题的有效性和潜力。理论上，CNS可应用于N体问题周期轨道的求解以及湍流研究等，为星系演化、复杂湍流的精确数值模拟等研究提供一个全新的研究工具。

搭乘“流浪行星”人类或可实现星际迁移

新华社讯 据《参考消息》报道，在未来的某个时候，我们可能将不得不离开我们的太阳系。今天，我们的技术还无法支持这样的任务，因为我们没有能够克服这些太空旅行所面临的障碍的航天器。但如果我们可以在没有飞船的情况下遨游太空，又会怎样呢？

美国休斯敦社区学院物理学和天文学教授伊琳娜·罗曼诺夫斯卡亚提出，外星文明可能会利用自由漂浮的行星作为星际交通工具，以到达、探索其他行星系统。她的相关研究发表在《国际天体生物学杂志》上。

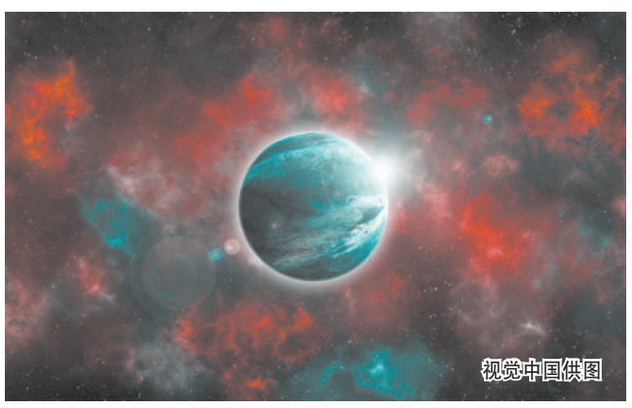
为了找到这些外星文明，罗曼诺夫斯卡亚说：“我认为，外星文明可能会利用自由漂浮的‘流浪行星’作为交通工具，以进行星际移民和殖民活动。我提出的策略是，可以尝试寻找它们的技术印记和制品。”

那么，这些“流浪行星”从何而来？大多数可能是因为引力事件而从它们所属的恒星星系中被“驱逐”出来的，但有些可能是像恒星一样通过吸积形成的。此外，它们也有可能来自奥尔特云。

有这样的可能性，即在这些“流浪行星”通过放射性衰变保持温暖的地下海洋中，存在着搭乘这些行星进行迁移的生命形式。据推测，可能约有500亿颗“流浪行星”在我们的银河系中游荡。

罗曼诺夫斯卡亚的想法是，理论上，足够先进的外星文明有可能占据这些“流浪行星”中的一个，并利用它们离开原先所在的星球。虽然这样的行星中有许多都是无法维持人类生命存在的荒芜“流浪小行星”，但这位研究人员推测，其中一些可能拥有地表海洋或地下海洋。再加上可持续的大气层和可靠的引力水平，从而可能使它们成为外星生命进行星际旅行的可利用资源。

当然，如果我们想利用这些“流浪行星”进行星际迁移的话，它们除了需要拥有人类可持续生存所必需的水资源之外，还必须离我们的太阳系足够近，这样我们才能登上它们。


视觉中国供图