

100000 why



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLISHING FOUNDATION

十万个为什么

第六版



总主编 韩启德

天文

主编 王绶琯

方成

副主编 卞毓麟

少年儿童出版社

十万个为什么

第六版

天文

总主编 韩启德

主 编 王绶琯

方 成

副主编 卞毓麟

少年儿童出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

十万个为什么 (第六版) /韩启德总主编.-上海 :少年儿童出版社 , 2014.1

ISBN 978-7-5324-9285-5

I.①十.....II.①韩.....III.①科学知识-青年读物②科学知识-少年读物

IV.①Z228.1②R-49

中国版本图书馆CIP数据核字 (2013) 第055411号



十万个为什么 (第六版)

总主编 韩启德

出 版 上海世纪出版股份有限公司少年儿童出版社

地 址 200052上海延安西路1538号

发 行 上海世纪出版股份有限公司发行中心

地 址 200001上海福建中路193号

易 文 网 www.ewen.cc

少 儿 网 www.jcph.com

电子邮箱 posmaster@jcph.com

印 刷 上海中华印刷有限公司
上海中华商务联合印刷有限公司
常熟市华通印刷有限公司
上海锦佳印刷有限公司
上海一众印务中心
浙江新华数码印务有限公司

开 本 889×11941/16
印 张 221.5
出版日期 2014年1月第1版第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5324-9285-5/N.962
定 价 680.00元（全18册）

版权所有 侵权必究

十万个为什么 第六版 编辑委员会

总主编

韩启德

编辑委员

(以姓氏笔画为序)

干福熹 马宗晋 王 越 王占国 王阳元 王威琪 王振义 王恩
多 王梓坤 王绶琯 王鼎盛 韦 钰 方 成 尹文英 邓子新
邓中翰 卢耀如 叶叔华 叶铭汉 叶朝辉 付小兵 匡廷云 戎嘉
余 朱能鸿 刘嘉麒 池志强 汤钊猷 许健民 许智宏 孙 钧
孙宝国 孙晋良 孙鸿烈 严东生 严加安 李三立 李大潜 李幼
平 李载平 李家春 杨 檚 杨芙清 杨宝峰 杨雄里 杨福家
吴启迪 吴征镒 吴孟超 吴新智 何积丰 谷超豪 汪品先 沈文
庆 沈允钢 沈自尹 沈学础 沈寅初 张弥曼 张家铝 张景中
陆汝钤 陈 颛 陈 霖 陈凯先 陈佳洱 陈宜瑜 陈晓亚 陈润
生 陈赛娟 林 群 林元培 欧阳自远 周又元 周良辅
周忠和 周福霖 冼鼎昌 郑时龄 郑树森 郑哲敏 孟执中 项坤
三 项海帆 赵东元 赵忠贤 俞大光 洪国藩 洪家兴 费维扬
贺 林 秦大河 倪光南 倪维斗 郭景坤 唐孝炎 黄荣辉 黄培
康 戚发轫 崔向群 葛均波 韩启德 韩济生 程 京 傅家謨
焦念志 童坦君 曾溢滔 雷啸霖 褚君浩 滕吉文 潘云鹤 潘建
伟 潘家铮 潘德炉 戴汝为 戴尅戎

十万个为什么 第六版 天文

主编

王绶琯 方 成

副主编

卞毓麟

板块负责人

卞毓麟 刘 炎 陈 力 陈学雷 邵正义 林 清 赵君亮 姜晓军
宣焕灿 萧耐园 谢 懿

撰稿人员

(以姓氏笔画为序)

卞毓麟 方 成 卢昌海 叶泉志 刘 炎 刘慧根 汤海明 苏
宜 李 曼 李剑龙 余 恒 邹振隆 张 旭 张 超 陈 力
陈冬妮 陈学雷 邵正义 林 清 赵君亮 施 韬 姜晓军 宣焕
灿 柴一晟 萧耐园 傅承启 谢 懿

审稿专家

何妙福

责任编辑：卢 昱

美术编辑：张 怡

整体设计：袁银昌 李 静

版面设计：胡 斌 钟一鸣 王昊圣

科技插图：邓 君 希罗月 迟柳娟

美编助理：王安丝 范艳佳 邓 苗 余姣卓 李宇辰 李虹庆

序言

韩启德

经过数百位编委、作者和编辑历时三年的辛勤努力，第六版《十万个为什么》终于与广大读者见面了。对于中国的科技界、教育界和出版界，以及千千万万的少年儿童来说，这都是值得高兴的一件事。

《十万个为什么》是由少年儿童出版社于1961年出版的一套科普图书。在半个世纪的岁月里，这套书先后出版了五个版本，累计发行量超过1亿册，是新中国几代青少年的启蒙读物，在弘扬科学精神、传播科学知识、提高全民科学素质方面发挥了巨大作用。在我国，至今还没有一套科普读物能像《十万个为什么》那样经得起如此长时间的检验，并产生如此巨大的社会影响。

进入21世纪以来，科学技术的发展日新月异，尤其在网络通信、低碳环保、基因工程、航空航天、新能源、新材料等领域，研究进展更是一日千里，乃至从根本上改变着人们的生活与工作方式。为适应科技发展带来的深刻社会变革，提高国家的综合国力和竞争力，党和政府高度重视加强科学技术普及，重视提高全民科学素质，并将国家科普能力建设作为建设创新型国家的一项基础性、战略性任务，这对我国的科普出版提出了更高的目标。

2006年，国务院正式颁布实施《全民科学素质行动计划纲要》，其中特别强调要提升未成年人的科学素养，因为只有从青少年时期就开始养成科学的思维方式与行为习惯，将创新精神与实践能力并重，才能最终使得全民的科学素质得到根本性的提高。为此，编辑出版一套崭新的适应时代发展要求的《十万个为什么》，使其在繁荣我国科普创作的进程中发挥“旗

帜”作用，其意义是非常深远的。

好奇心是青少年的可贵特质，是驱使他们亲近和接受科学的动力，一定要保护好。从50年来的经验看，“一问一答”是个好形式，也是《十万个为什么》被大家喜爱的重要原因，在编纂第六版《十万个为什么》时我们坚持了这一好形式，并力争在传授科学知识的同时，引导读者去思索问题，去感受科学文化和科学精神，去体会科学探索的乐趣。

出于积极参与科学普及工作，提高全民科学素质的社会责任感，中国科学院和中国工程院共有百余位院士应邀担任了第六版《十万个为什么》的编委。其中20余位院士在百忙之中担任了各分册的主编，具体负责组织相关分册的编纂工作，有40余位院士亲自撰稿。此外，还有700余位来自世界各地、各个学科的优秀科学家和科普作家参与了新版《十万个为什么》的编写。这么多高层次科学家参与到一套科普图书的编纂工作中来，这在我国科普出版史上是空前的。阵容强大的编委会和作者队伍，为新版《十万个为什么》的科学性、前沿性、权威性和可读性提供了最可靠的保证。在此，我也谨向所有参与第六版《十万个为什么》编纂工作的编委、主编、作者和社会各界表示衷心的感谢和深深的敬意。

第六版《十万个为什么》在总结前五版成功经验，并广泛征求各方面意见的基础上，综合考虑时代的发展和青少年读者的实际需要，将全书分为三大板块共18个分册。基础板块包括数学、物理、化学、天文、地球、生命，是传统六大基础学科；专题板块包括动物、植物、古生物、医学、建筑与交通、电子与信息，是由基础学科衍生出来的重点传统学科；热点板块包括大脑与认知、海洋、能源与环境、航空与航天、武器与国防、灾难与防护，则是近些年发展特别迅速，引起社会广泛关注的热点领域。在编纂每一分册的过程中，我们根据这个学科或专题的内容，充分考虑知识体系的完整性和科学发展的前瞻性，问题的设计和分布尽量与学科或专题的内在结构相吻合，从而使每一分册都成为具有完整的内在知识体系的读物。现代科学技术发展的一大特点是学科之间的交叉融合，相信小读者们在阅读过程中也会在不同的分册中发现一些共性的问题。

第六版《十万个为什么》在形式上适应了当代青少年的阅读需求，与国际上同类图书的最新出版潮流相接轨，首次推出彩色图文版，用大量彩色图片向读者展示当代科技前沿的无穷魅力。内容上具有鲜明的时代特色，从基础、前沿、关键、战略四个方面来组织问题和编写稿件，重点关注科技发展的前沿和当代青少年关心的热点问题。尤其值得称道的是，书中的大量“为什么”是通过各种形式向全国少年儿童征集来的，力求将当前孩子们最关心、最爱问的问题介绍给他们。同时，新版《十万个为什么》更加注重思考过程，提倡科学精神，引导创造探索，关注科学与人文、科学与社会的关系，通过“微问题”“微博士”“实验场”“科学人”“关键词”等小栏目激发青少年的好奇心和探究心理。

我们相信，第六版《十万个为什么》将以全新的问题、全新的体系、全新的内容、全新的样式，以及数字化时代全新的技术手段，再现《十万个为什么》每一版都曾有的辉煌，掀起中国科普出版和科学普及的又一个新高潮。第六版《十万个为什么》的出版，必将引领更多青少年走向科学，使共和国涌现出更多的栋梁之材。同时，这套书的出版，对于贯彻落实《全民科学素质行动计划纲要》精神，促使当代中国广大青少年科学世界观的形成和科学创新能力的提高，推进全社会在讲科学、爱科学、用科学上形成更加浓厚的氛围，使全民科学素质再上新台阶，发挥不可替代的关键作用。

目 录

[扉页](#)

[版权信息](#)

[序言](#)

[目录](#)

[导言](#)

[为什么要研究天文学](#)

[天象和观测](#)

[为什么天空看起来像个球](#)

[为什么天文学家不管天气预报](#)

[为什么恒星会眨眼](#)

[肉眼可以看到多少颗星星](#)

[为什么天上有88个星座](#)

[为什么四季的星空不一样](#)

[为什么天文学家要使用星表](#)

[为什么杜牧在诗中说“卧看牵牛织女星”](#)

[为什么杜甫有“人生不相见，动如参与商”的诗句](#)

[为什么昼夜长短总在变化](#)

[一天到底有多长](#)

[为什么有些星星永不落下，有些星星又永不升起](#)

[望远镜发明之前天文学家怎样工作](#)

[用业余天文望远镜能看到什么](#)

[第一架天文望远镜是谁制作的](#)

[为什么当代大型望远镜多是反射望远镜](#)

[为什么需要折反射望远镜](#)

[为什么天文望远镜越大越好](#)

[为什么天文学家老是要给星星拍照](#)

[为什么天文学家对光谱那么感兴趣](#)

[为什么不同波段的望远镜看到的星空互不相同](#)
[为什么巨型望远镜要利用主动光学技术和光纤技术](#)
[下一代天文望远镜会是什么样的](#)
[为什么要用许多小镜子拼成一个大镜面](#)
[天文台建在哪里比较好](#)
[为什么要把望远镜送上天](#)
[为什么要让月球成为望远镜的新家](#)
[天文学家怎样测量天体的距离](#)
[为什么天上的星星有的亮有的暗](#)
[为什么地平线上的月亮看起来特别大](#)
[为什么“半个月亮爬上来”决不会是上弦月](#)
[为什么金星凌日有时过8年发生一次，有时却要相隔100多年](#)
[行星连珠会造成地球上的灾难吗](#)

[太阳、地球和月亮](#)

[为什么太阳会发光](#)
[为什么说太阳也有生长老死](#)
[为什么太阳表面有时会长出“雀斑”](#)
[为什么太阳黑子有些年份多有些年份少](#)
[黑子越多太阳就越暗吗](#)
[曾经失踪的太阳中微子找到了吗](#)
[为什么日冕的温度反而比太阳表面的温度还要高](#)
[为什么说北极星不等于北天极](#)
[地球上的一年永远都是365天吗](#)
[为什么月球上只有昼夜，没有四季](#)
[八月十五的月亮最圆吗](#)
[为什么在地球上看不到月球的背面](#)
[月球上有水吗](#)
[为什么月球表面像个麻子脸](#)
[为什么美国人要登上月球](#)
[为什么“嫦娥”也要奔月](#)

[为什么地球会有月球作伴](#)

[为什么月球物质比地球物质“轻”](#)

[为什么月球上有那么多“海”](#)

[为什么会有日食和月食](#)

[为什么日食比月食罕见](#)

[为什么太阳和月亮看起来差不多一样大](#)

[太阳系](#)

[太阳系大家庭有哪些主要成员](#)

[太阳系是从哪里来的](#)

[为什么说太阳像是太阳系王国的“国王”](#)

[为什么水星很难见到](#)

[为什么水星这么像月球](#)

[为什么金星表面那么热](#)

[为什么金星上的太阳从西边升起](#)

[为什么到金星上旅游困难重重](#)

[为什么会长达大半个世纪的火星“运河”之争](#)

[为什么说火星像是一个“袖珍的地球”](#)

[为什么要进行“火星500”大型试验](#)

[为什么火星上会出现大尘暴](#)

[为什么要造那么多火星车](#)

[木星上有哪些靓丽的风景](#)

[为什么说木卫二上有海洋，甚至可能有生命](#)

[为什么木星那么扁](#)

[土星大气为什么会像天王星一样呈蓝色](#)

[土卫二真是“活”的吗](#)

[为什么土卫八长着一张“阴阳脸”](#)

[为什么土星戴着一个美丽的光环](#)

[为什么土星光环中有那么多的“螺旋桨”](#)

[地球什么时候也能有自己的光环](#)

[为什么天王星的发现如此激动人心](#)

[为什么说天王星是在“躺着”打滚](#)
[为什么说海卫一是一颗很特别的卫星](#)
[为什么说海王星是“在笔尖上发现的新行星”](#)
[为什么人们总是对冥王星的身份提出疑问](#)
[为什么冥王星和冥卫一曾被看成“双行星”](#)
[为什么太阳系中有那么多的小行星](#)
[小行星是怎样命名的](#)
[为什么会有柯伊伯带](#)
[矮行星有什么地方不如行星](#)
[为什么这颗星取了“阋神星”这么个怪名字](#)
[为什么“哈雷彗星”的命名与众不同](#)
[为什么地球穿过彗尾仍能安然无恙](#)
[为什么要对彗星“深度撞击”](#)
[太阳系的边界在哪里](#)
[为什么说奥尔特云是装满了彗星的“大仓库”](#)
[为什么能知道一块石头是不是“天外来客”](#)
[为什么南极洲的陨石特别多](#)
[陨石向我们透露了什么秘密](#)
恒星和银河系
[恒星在天空中的位置永恒不变吗](#)
[天上的恒星会相撞吗](#)
[为什么用多普勒效应可以测得天体的运动速度](#)
[为什么说恒星的世界五彩斑斓](#)
[为什么不同质量的恒星会有不同的归宿](#)
[为什么恒星世界也有“侏儒”和“巨人”](#)
[怎样给远方的恒星称“重”](#)
[为什么造父变星被称为“量天尺”](#)
[为什么有的恒星时亮时暗](#)
[恒星是怎样诞生的](#)
[太阳有没有同胞兄弟](#)

[为什么人类能知道恒星的身世](#)
[为什么科学家总在说“赫罗图”](#)
[为什么说大多数恒星都处在青壮年时期](#)
[为什么新星不是刚诞生的星](#)
[为什么宇宙中会有巨大的“钻石”](#)
[超新星会毁灭地球吗](#)
[为什么“小绿人”能发来这么稳定的电报](#)
[为什么说我们的血液中流淌着超新星的“遗产”](#)
[为什么说恒星世界里也有“代沟”](#)
[黑洞是“太空中最自私的怪物”吗](#)
[为什么说黑洞只有“三根毛”](#)
[为什么说天上的星星也抱团](#)
[为什么说球状星团是银河系中的“元老”](#)
[有没有孤立于星系之外的恒星](#)
[为什么说星际空间尘土飞扬](#)
[为什么说猎户星云是恒星的摇篮](#)
[为什么“银河”和银河系并不是一回事](#)
[为什么说太阳不在银河系的中心](#)
[为什么人们难识银心真面目](#)
[为什么说银河系中心有个大黑洞](#)

[星系和星系团](#)

[天文学家怎样证实河外星系的存在](#)
[星系大家族里有些什么成员](#)
[为什么把银河系归类为“棒旋星系”](#)
[为什么有些星系被称为特殊星系](#)
[为什么说有些星系特别活跃](#)
[为什么星系会发生碰撞和并合](#)
[银河系也会与其他星系发生碰撞吗](#)
[为什么看似恒星的“类星体”并不是恒星](#)
[为什么星系也爱抱成团](#)

[为什么说星系团也有“贫”有“富”](#)

[为什么说银河系不孤单](#)

[为什么存在哈勃定律](#)

[为什么说星系的运动很复杂](#)

[宇宙学](#)

[为什么说宇宙学是一门古老而又年轻的学问](#)

[茫茫宇宙中都有些什么](#)

[为什么说宇宙在膨胀](#)

[宇宙的膨胀有中心吗](#)

[为什么说宇宙始于一次大爆炸](#)

[为什么宇宙中最多的元素是氢和氦](#)

[为什么天空中每个方向都有微波背景辐射](#)

[为什么能断定微波背景辐射来自宇宙大爆炸](#)

[到达宇宙边缘，能把“手”伸出去吗](#)

[为什么夜空是黑的](#)

[为什么说物质在宇宙空间中不是均匀分布的](#)

[星系和大尺度结构是如何形成的](#)

[为什么科学家能知道早期宇宙的不均匀性](#)

[为什么可以利用微波背景辐射测量宇宙的几何形状](#)

[为什么说宇宙中藏有“暗物质”](#)

[怎样才能探测到看不见的冷暗物质](#)

[为什么说宇宙膨胀在加速](#)

[为什么说是暗能量加速了宇宙膨胀](#)

[为什么说宇宙极早期经历过一次暴胀](#)

[为什么说丰富多彩的宇宙归功于“不对称”](#)

[宇宙中的第一个原子核是什么时候合成的](#)

[除了可见宇宙，还存在别的宇宙吗](#)

[为什么人择原理可以帮我们理解宇宙何以如此](#)

[无数亿年后的宇宙会是怎样的](#)

[大爆炸前的宇宙是怎样的](#)

历法和古代天文学

人类为什么需要历法

现在谁还在使用阴历

为什么2000年是闰年，而1900年不是闰年

为什么公历2月只有28天

为什么说玛雅人的历法知识达到了相当高的水平

为什么中国农历的闰年要多一个月

为什么说二十四节气属于阳历

为什么农历没有闰春节

古代中国人为世界天文学贡献了什么

古人心目中的宇宙图像是怎样的

为什么远古的人们要建造巨石阵

为什么古希腊人能测出日月地三者大小之比

一行是怎样进行大地测量的

为什么托勒玫的地心说可称是世上第一个较科学的宇宙结构学说

为什么说哥白尼日心说引起了自然科学的革命

为什么把开普勒称为“天空立法者”

为什么太阳系的所有行星都有一个共同的“魔幻数”

为什么赫歇尔数星星能绘出银河系的图景

宇宙中的生命

为什么地球会成为生命的乐园

为什么太阳系内其他星球上也可能有生命

为什么宇宙中其他地方也可能有地球型生命

为什么天文学家特别关注海底热泉中的嗜极生命

为什么外星生命也许和地球上的生命大不一样

什么样的星球上可能会有生命

为什么不是任何恒星旁边都存在有生命的星球

为什么天文学家能够发现太阳系外的行星

太阳系外的行星会不会大同小异

天文学家发现了什么样的太阳系外行星

[为什么搜寻太阳系外行星的计划如此庞大](#)

[外星智慧生物比我们聪明吗](#)

[银河系中可能有多少外星文明世界](#)

[为什么要用射电望远镜探索地外文明的信息](#)

[为什么要在1420兆赫频率上探测地外文明的信息](#)

[为什么外星文明有可能理解我们的编码信息](#)

[为什么“先驱者号”和“旅行者号”都带上了太空礼品](#)

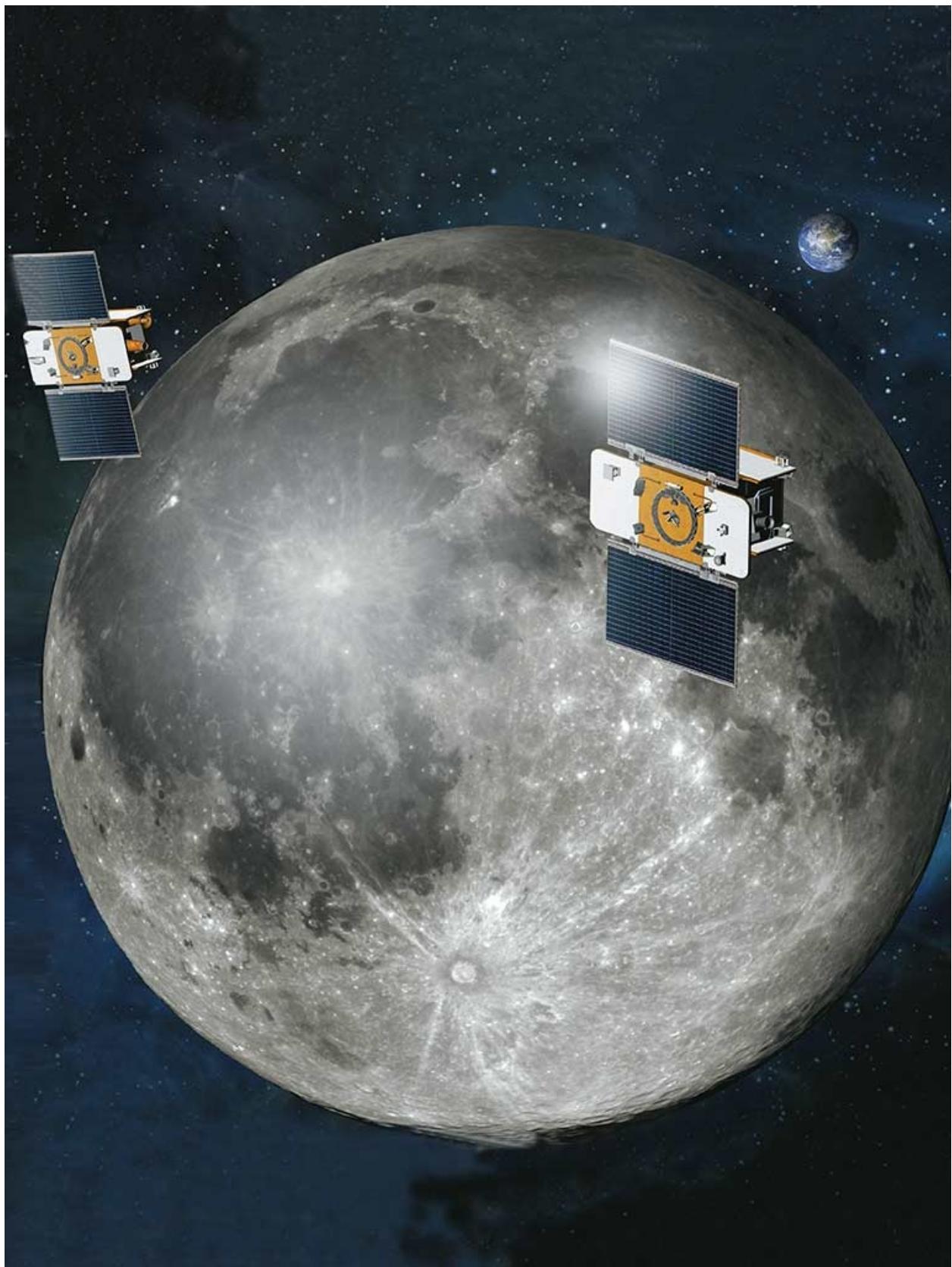
[为什么现在还很难设想载人的恒星际航行](#)

[为什么恒星际旅行要使用“太空方舟”](#)

[为什么会有那么多的UFO](#)

[为什么说UFO≠飞碟](#)

[附录 图片及辅文版权说明](#)



导言

为什么要研究天文学

从古至今，天文学都是人类文明中不可或缺的重要学科，因为它与人类息息相关。昼夜交替，四季循环，人类自从诞生以来，无时无刻不在接触天文现象。明亮的太阳、皎洁的月光、灿烂的群星、壮观的日食……让我们产生了无数疑问：我们生活的地球在宇宙中是什么样的？太阳为什么会发出光和热？夜空中闪烁的星星是什么？除了地球之外，其他星球上还有没有生命？有没有外星人？彗星和小行星真会与地球相撞吗？宇宙到底有多大？宇宙是怎么产生的？……这些问题引起了人们的极大兴趣。

古代人们在从事农牧业生产时，很早就懂得了利用天象来确定季节。古代的渔民和水手在茫茫大海上利用星星确定自己航行的方向，利用月亮的圆缺变化来判断潮水的涨落……

现代科学技术的发展对天文学有了更多新的需求，天文学得到了飞速的发展。

天文台编制的各种历表，不仅满足了人们日常生活的应用，而且更是航海、航空、大地测量、科学研究等部门迫切需要的。生活中离不开时间，近代科学更需要测定和记录精确的时间，天文台就承担了测定标准时间和提供时间服务的工作。

各种天体和广袤的宇宙是理想的实验室，宇宙间存在着地面实验室无法达到的超大尺度、超大质量、超高速、超高（低）密度、超高（低）温、超高压、超真空和超强磁场等极端物理条件。例如质量比太阳大几十倍的星球，几十亿度的高温，几十亿大气压的高压，每立方厘米几十亿吨

的超密物质，以及每立方厘米仅有一两个原子的超真空状态，等等。人们经常从天文学的新发现得到启发，然后再加以利用。这在科学史上有着大量生动的事例：从总结行星运动的规律得出了万有引力定律；观测到太阳上氦的光谱线后，才在地球上找到了氦元素；从计算太阳和新星爆发的能量，发现了人们原本不了解的核能源……



美丽的草帽星系M104



麒麟座V838也许是已知最大的恒星之一，2002年曾发生剧烈的爆发

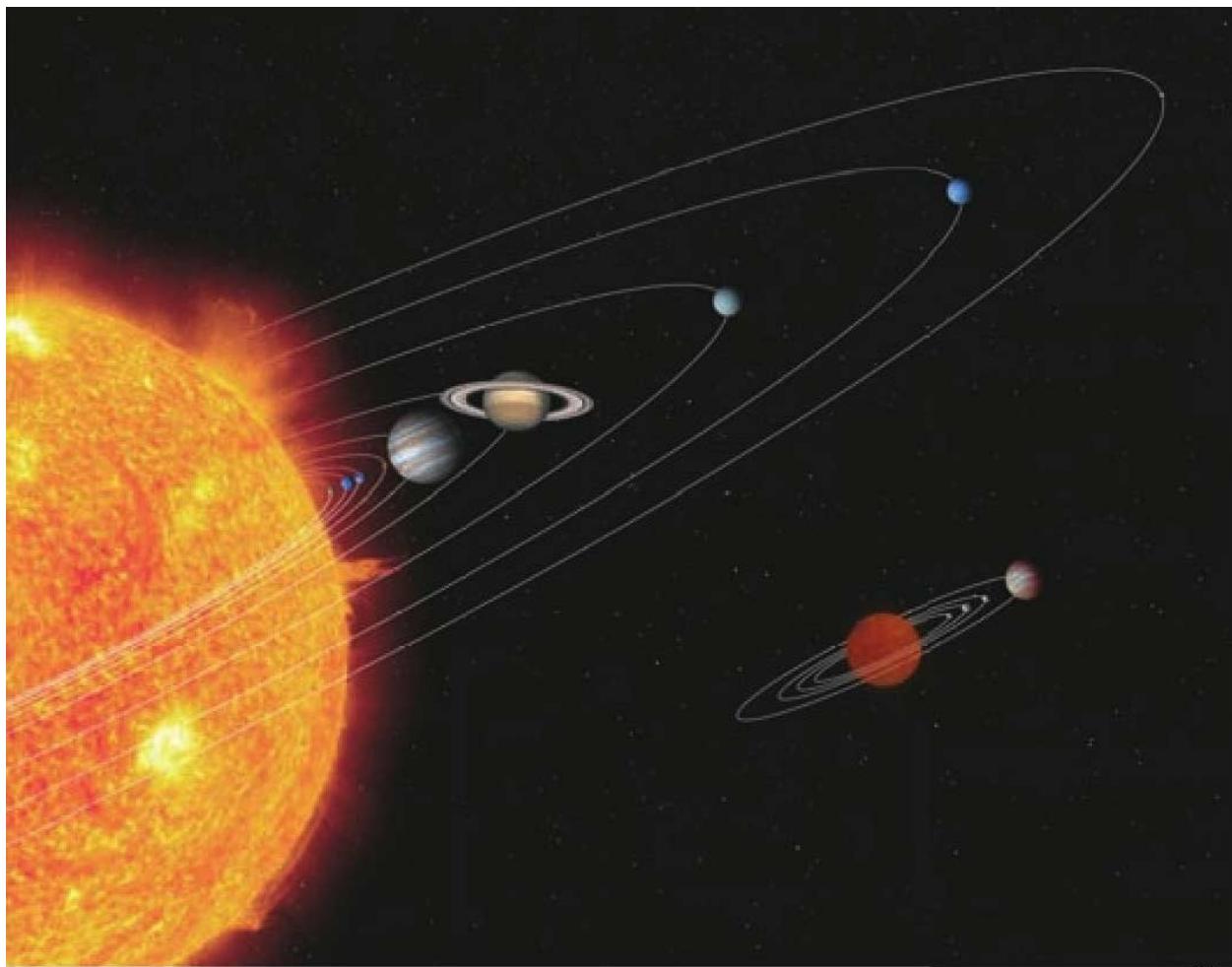
®

天文学曾对数学和力学的发展起了奠基性的作用。天文学和物理学的结合产生了天体物理学，成为当代天文学的主流。宇宙中星际分子和有机分子的发现，以及地外生命的探索开创了天体化学和天体生物学的研究，并成为生命起源研究的重要领域。天文学同地球物理学和地学的密切结合，开辟了空间天气学和天文地球动力学等新的交叉学科。天文学是空间科学的先驱，又是它不可缺少的内容和依托。因此，天文学和自然科学的几乎所有学科互相渗透、互相促进，成为整个自然科学中不可缺少的重要组成部分。

现代天文观测和研究追求极微弱信号的探测、极高的空间和时间分辨率、极精确的空间导向和定位以及极精密的计时等，因而在天文学研究中发展起来的天文技术、方法和新概念对人类的技术进步有着巨大的推动力作用。

当代地球与空间环境的保护和利用这一重大问题同人类生存和社会发展密切相关。它涉及全球气候变化研究，大气臭氧层保护，地震和旱涝的

预测，甚至小行星撞击地球的监测等。太阳活动的剧烈变化还会造成无线电通信中断、电力系统故障、人造卫星损坏和变轨，以及威胁宇航员安全等重大灾害。卫星的监测、空间碎片的研究，以及自主的时间服务系统可以为国家安全和航天器的安全提供保障。所有这些，无一不同天文学的研究息息相关。



太阳系（左）和一颗红矮星的行星系统比较图

⑤

天文学向我们揭示了自然界的真面目。几千年来人们对于地球的性质、地球在宇宙中的位置以及宇宙的结构等方面都曾有过错误的认识。假如没有天文学，这些错误的认识将会继续下去。波兰天文学家哥白尼冲破长达千余年的宗教束缚，提出了日心说，把自然科学从神学中解放出来，开创了人类思想史上第一次伟大的革命，是人类认识宇宙的第一次飞跃，

就是最好的例证。

在人类进入航天飞行的时代，天文学集中了人类对于自然认识的精华。天文学不仅可以培养人们强烈的求知欲望、勇于创新的精神和科学的思维方法，而且更有助于认识人类在自然界和宇宙中的地位，树立起正确的认识论和世界观。如果一个人对现代天文学的伟大成就一无所知，他就不能算是一个受过良好教育的人。正因为如此，世界上很多国家都把天文学列入了中学课程。

上面仅仅从几方面简单介绍了天文学的发展和应用。随着激动人心的新发现不断涌现，新认识、新理论层出不穷，天文学空前地活跃起来，成为自然科学中最活跃的前沿学科之一，在人类认识宇宙的又一次飞跃中成为无可争辩的主角和带头学科，对现代科学的发展起了无可替代的推动力作用。（方成）

(N)



太阳风暴对各种空间探测器和卫星都可能造成影响

【微博士】空间天气

太阳上发生的耀斑和日冕物质抛射等剧烈活动具有巨大的能量。一次日冕物质抛射事件可抛射

出上百亿吨的物质，速度达50~2000千米/秒，产生强大的激波和各种扰动。耀斑的总能量相当于1万~10万次火山爆发或百万个氢弹爆炸，可辐射出强烈的无线电、红外线、可见光、紫外线、X射线和伽马射线等各种电磁波，抛射出大量高能粒子（包括电子、质子和重离子等），持续时间为几分钟至几小时。这些太阳上的剧烈活动会严重影响地球及其附近空间的物理状态。人们把这种由太阳活动引起日地空间短时间尺度的变化，称为空间天气。灾害性空间天气会产生一系列严重的后果。例如，造成人造卫星上的仪器和太阳能电池板的损坏，使卫星控制失灵、轨道变化和高度降低；威胁宇航员的安全；造成地球上的地磁暴和电离层暴，从而严重影响导航和通信等；强大的感应电流可以造成输电线路和设备的损坏；甚至还会影响地球的气候和人类的健康等。

【微问题】天文学包括哪些分支学科？

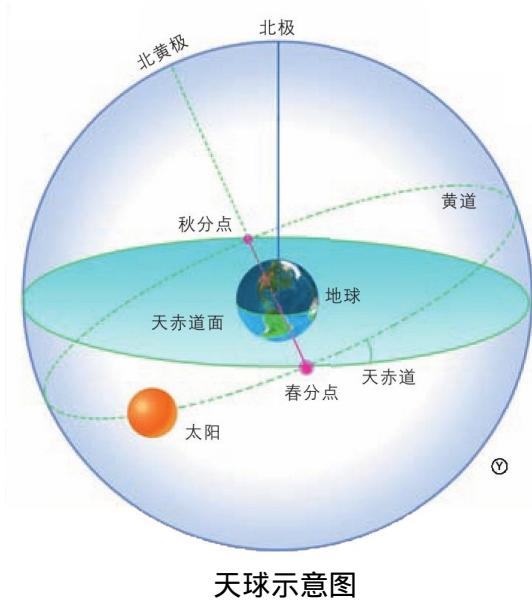
【关键词】天文学 空间科学 时间服务 天文方法 世界观

天象和观测

为什么天空看起来像个球

“天似穹庐，笼盖四野”，“天如鸡子，地如卵中黄”，这是古代中国人对天空的描述。他们认为天空如同一个锅盖，或者一个球壳，将大地包裹在其中。古希腊天文学家托勒玫的“地心说”认为天空是由一层又一层的“天球”组成的，恒星则固定在最外层天球上。

天空真是球形的吗？为何人们都有如此相似的感觉？其实这是一种错觉，产生这种错觉的原因，是因为星星太遥远了，我们完全无法判断哪颗星离得近，哪颗星离得远，以至于我们认知的距离感丧失了，错认为每颗星到我们的距离都是一样的，因此我们看到的天空就如同一个球形。



虽然这种“天球”的感觉是因错觉造成的，但在天文观测中，我们却可以借助“天球”的概念来标定天体在天空的位置。在天文观测中的天球，是以观测者为中心，以无穷远为半径假想出的一个巨大球面。既然这个球面是无穷远的，那么我们也不用顾及哪颗星星距离我们远，哪颗星星距离我们近，而是把它们统一当作无穷远的天体来看待。这样一来，我们只需要在天球上画出网格坐标，就可以通过经度和纬度来记录天体的位置及变化。当天文学家通过望远镜观测时，用这些坐标数字就可以准确找寻天体。

为了形象表示天球，人们还制作出了天球仪。中国汉代的浑象和西方古罗马时期的法尔内塞天球都是早期天球仪的代表。天球仪和地球仪样子差不多，也有南北极和赤道。不过地球是真实存在的，而天球是假想球。天球上画的不再是地面上的河流山川，而是天上的日月星辰。相对于地球仪而言，天球仪上的坐标要复杂得多，除了常用的赤道坐标系，还有根据太阳运行的轨道平面建立的黄道坐标系，根据银河系的盘面建立的银道坐标系，根据观测地的地平圈建立的地平坐标系等，它们都可以用来记录各种天体的位置。

三维的天球仪是以天球之外观察者的角度来设计的，因而同地球上看到的方位刚好相反，使用并不方便。更常用的是投影后的二维星图。位于苏州的南宋石刻天文图就是这样绘制的。（张超）

为什么天文学家不管天气预报

如果你问一位天文学家“明天天气如何”，估计他会一愣。这是因为作为一名天文学家，他既不研究大气，也不从事气象预报工作。他感兴趣的，主要是地球大气层以外的事情。有些天文学家研究的是太阳系中的天体，包括火星、木星这样的行星，也关注彗星、小行星这些小质量天体，他们研究的是“行星科学”。有些天文学家喜欢研究太阳以及更加遥远的恒星，他们研究的是“恒星天文学”。有一些天文学家研究恒星等天体组成的银河系以及更远的星系，他们研究的是“星系天文学”。还有些天文学家喜欢探索整个宇宙的故事，他们关注宇宙在膨胀还是收缩，宇宙何时形成，以后又将怎样，这个领域称为“宇宙学”。可以说，地球大气层之外的所有天体，都是天文学家研究的对象。



鱼眼镜头拍摄的帕拉纳尔天文台，天文学家关心的是大气层外的天体

不过也有例外。比如，天文学中有一个门类称为“流星天文学”。流星是宇宙空间的流星体闯入大气层后，和大气摩擦而产生的发光现象。虽然这种现象发生在大气层内，但其本体来源于宇宙，因此同样也被天文学家所关注。和流星天文学类似，从外太空掉落到地面上的陨石，从太阳来的带电粒子产生的极光，宇宙中高能粒子在大气中产生的簇射，这些都是天文学研究的对象。

那么天气预报应该归谁呢？原来，从事天气和气候方面研究的是气象学家。不过天文和气象在过去经常被人们放在一起来说。因为中国早期的香港天文台、徐家汇天文台、青岛观象台等台站，最重要的工作是做气象数据记录，此外才是从事天文现象观测。这也难怪让人产生“天文气象是一家”的误会。



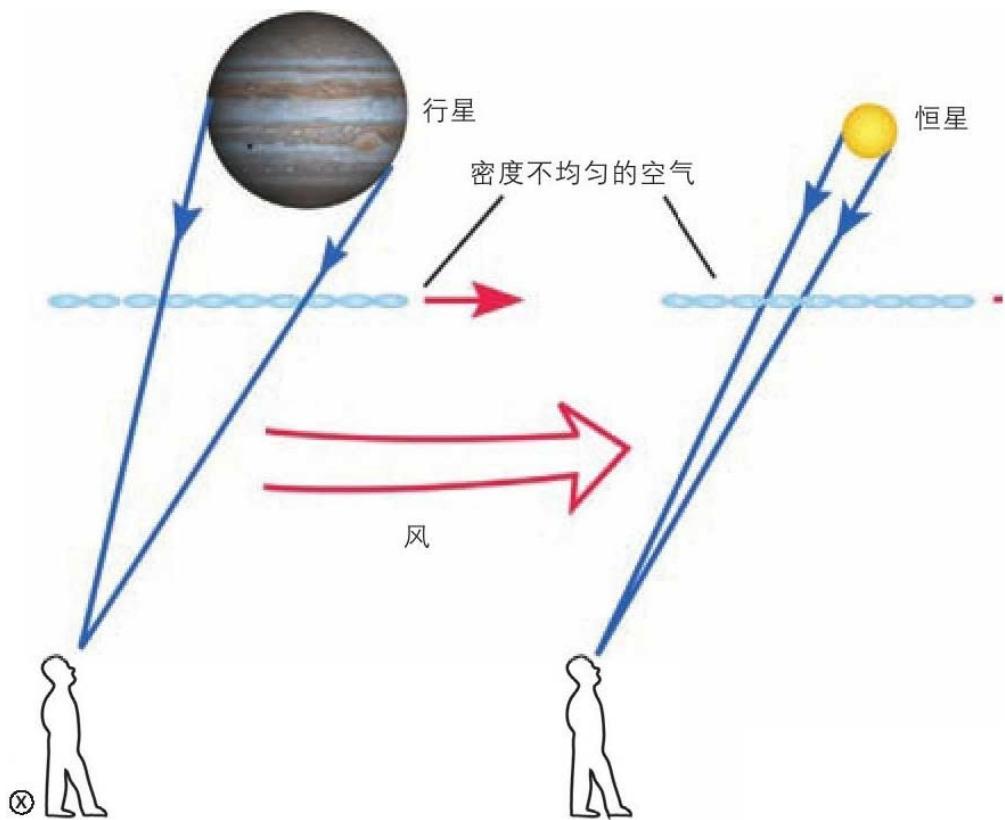
如今香港天文台（上图）仍在预报气象，热带风暴来临时会挂“风球”（下图）

随着学科划分越来越精细，天文学和气象学逐渐成为两个独立的学科，如今的天文台不再负责气象观测，天文学家可以专心研究自己钟爱的天体了。不过，由于天文是基于观测的一门学科，需要用望远镜去观测遥远的天体，了解观测时的天气如何就很重要。因此，观测天文学家才会密切关注天气变化，从而制定更好的观测方案。（张超）

为什么恒星会眨眼

在晴朗的夜晚，我们会看到繁星闪烁，好像在“眨眼睛”，这是怎么回事儿呢？这是由于大气抖动引起的。如果在夏天远望灼热的沥青路面，就会发现路面上方的空气好像流水一样上下翻动。当我们透过空气看远方的景物，发现景物也变得模模糊糊、抖动不停。中国古人给这种现象起了一个好玩的名字叫“野马”。空气在冷热不均匀的时候就会出现密度的变化，它们使大气的折射性质发生变化，就像一个个小透镜，于是导致了这种抖动现象。星光是点光源，光线在经过地球大气层的过程中会遇到很多类似的“小透镜”，当这些“小透镜”抖动时，星光便有时分散，有时汇聚，在我们看来就忽明忽暗，如同“眨眼”。像金星等行星由于不是点光源而是面光源，张角往往大于密度不均的空气“透镜”的尺度，所以不易受到大气抖动的影响，一般看上去不会“眨眼”。

天文学家用“视宁度”来表征大气抖动造成星星“眨眼”的程度，空气抖动会影响到望远镜观测天体的清晰度，因此专业天文台要建在空气相对“安静”，也就是“视宁度”好的地方。（张超）



恒星会“眨眼”而行星较宁静的原理示意图

【微博士】天球上的坐标

天文学家最常用的天球坐标系以地球赤道面为基准面，因此被命名为赤道坐标系。在这个坐标系中，北极星所在的位置为赤纬 90° ，太阳在春分点时的位置定为赤经 0° ，过天球中心与地球赤道面平行的平面称为天赤道面，天赤道面和天球相交的大圆就是天赤道。

【微问题】二维星图应该怎么看？

【关键词】天球 天文台 视宁度

肉眼可以看到多少颗星星

普通人用肉眼能看到多少星星？一起来数数吧。不要以为这是一件不可能完成的任务，只要方法得当，还是可以数清的。古希腊天文学家依巴谷把星星按亮度分为不同等级，很亮的星星定为1等，其次的定为2等，而把人眼勉强能看到的星星定为6等，更暗弱的星星，仅仅凭人眼就无法看到了。

这样一来，我们只需要记录每个星等有多少颗星，便可以知道肉眼能看到多少星了。天文学家已经把这个工作做完了：全天有1等星20颗，2等星46颗，3等星134颗，4等星458颗，5等星1476颗，6等星4840颗，一共是6974颗。

这将近7000颗是整个天球上肉眼可见的所有星星。不过，当我们在地面上看时，只有约一半的星星在地平线之上，另一半则沉于地下。而在地平线附近，星光由于要穿过浓密的大气层，减弱得更加厉害，因此在地平线附近低空的星星也很难被看到。这样算来，只有约3000颗星“幸存”。

在实际观测中，由于受到很多观测条件的影响，比如月光干扰、大气透明度不佳、个人视力差别等因素，一般人们看到的星星数量还要少于3000颗。古希腊天文学家依巴谷据说视力极好，而他根据观测编制的星表中，星星的数量也不过千颗。因此当我们看到繁星满天的时候，仔细数一数，并没有我们想象的那么多。

什么？你在晚上只见过十多颗星星？这也难怪，如今的城市发展迅速，夜空受到灯光的影响，其背景亮度在逐渐提高。如今在大城市中，暗于3等的星都淹没在明亮的夜空背景中，再除掉沉没于地平线下的那些星，即使天气再好，我们也只能看见二三十颗星了。（张超）



为什么天上有88个星座

晴朗的夜空，繁星密布。远古人类经过长期的观察，发现群星组成的图案是恒定不变的，只有少数几颗亮星（行星）在众星之间游走。为了区分并称呼这些恒定不变的星星，人们将它们分组，取以专门的名称。不同的民族，组合方法不同，名称也各异。现代国际通行的星座划分，可溯源至古巴比伦。古巴比伦远在5000年前就有了最早的星座名称。公元前13世纪，已划分出黄道带上的12个星座，称为“黄道十二宫”，意为太阳周年运行过程中的12座行宫。以后又逐渐扩充，命名了更多星座。公元2世纪，古希腊天文学家托勒玫在总结前人认识的基础上，编制出含有48个星座的表。16~17世纪欧洲地理大发现，又补充了南天的一些星座。这时的星座概念，还只是一些肉眼可见的亮星之间的组合，星座与星座之间并没有明确的界限。随着天文望远镜技术的发展，越来越多的暗星被发现和深入研究，但它们属于哪一个星座，怎样标记和称呼它们，难以明确。



⑦

以北极点为中心的北天星座及其神话形象



②

以南极点为中心的南天星座及其神话形象

1928年，为了天文学研究的需要，国际天文学联合会在荷兰莱顿举行的大会明确地将全天空划分为88个星座区域，沿天球赤道坐标系的赤经、赤纬线曲折分界，保留住传统的星座名字，用拉丁文规定其学术名称和由三个明确大小写的字母组成其缩写符号，全世界统一使用。其后，中国天文学会又确定了星座的中文译名，成为正式的学术名称。

其他文明也有自己的星空划分和命名方法。比如中国古代把星空划分为三垣、四象、二十八宿等，它们在历史和文化上发挥过很大的作用，在

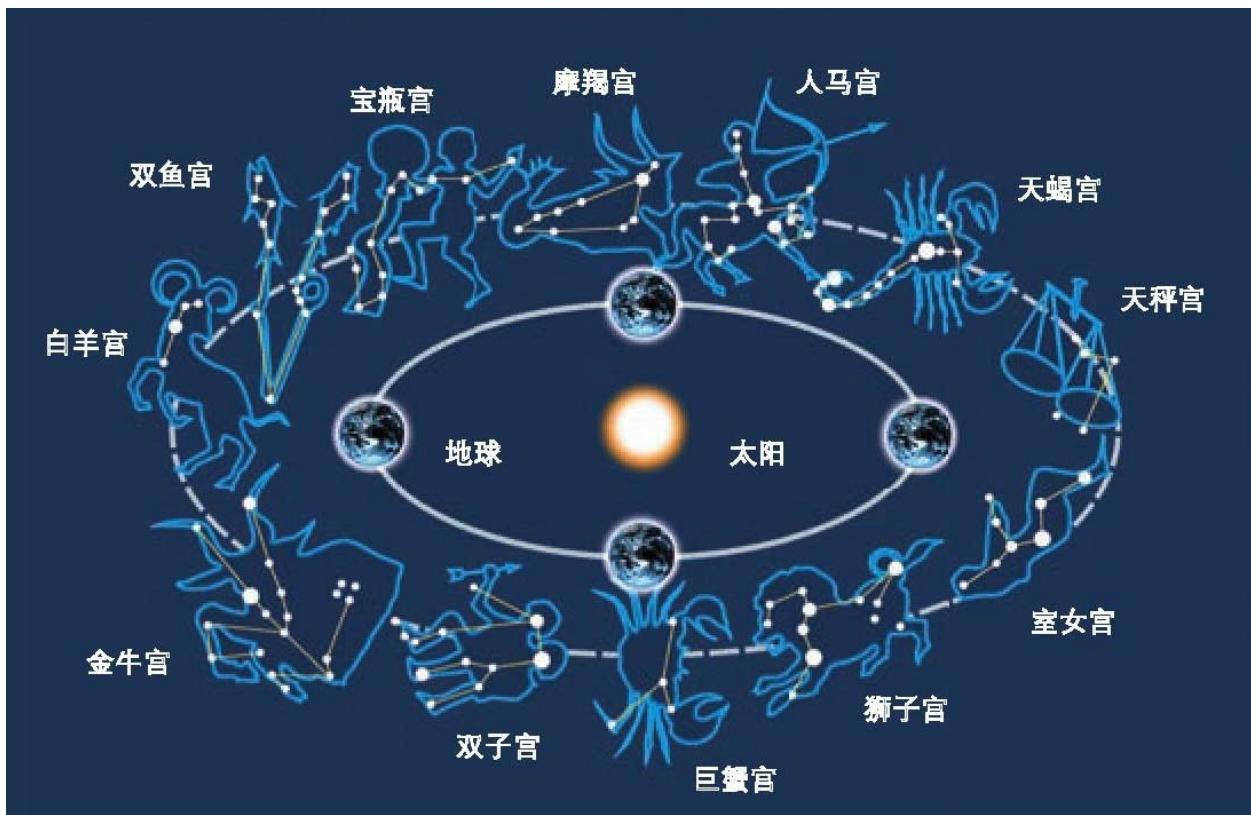
功能方面与西方流行的星座是类似的。（苏宜）

为什么四季的星空不一样

人在地球上任何位置，只能看到半个星空，另一半星空在地平线下。在南北两极，地球自转轴通过头顶，星空怎么转也还是那些星，地底下的不会升起来。而在一般纬度的地方，人们可以看到星空随季节不同而有规律地变换。

四季星空的变换原因和地球公转有关。太阳之外的恒星距离地球都非常遥远，而地球距太阳较近，所以在地球绕太阳公转时，从地球上看起来太阳便在相对不动的众星之间运转，一年一个周期，这称为“太阳周年视运动”。因为地球的大气分子散射阳光，所以我们在白天看不到被太阳光辉淹没的半个星空，只能在夜晚看到反方向的另半个星空。这样，随着太阳的周年视运动，我们就轮流看到了不同的星空。春季里，太阳离飞马座不远，半夜时，反方向的狮子座高悬头顶；夏季时，太阳移至猎户座附近，半夜可见到天蝎座；秋季里，太阳在狮子座中，飞马座成为半夜星空的主角；到冬季，太阳移至天蝎座，所以半夜当空的是猎户座。这就是四季星空的变换。

当然，星空的变换并不是突然换季，而是每晚都在连续地进行。因为太阳周年视运动一年转 360° ，折合每天在黄道上移动约 1° ，而由地球自转造成的星空东升西落，转过这 1° 约需4分钟。所以同一颗恒星每天升起的时间提前4分钟，一个月提前2小时，一年提前24小时，又回到原来的时间了。星移斗转，年复一年，星空总是这样有规律地运转不息。（苏宜）



⑩

黄道十二宫



⑩

四季星空的主要星座

【微博士】星座能预测人的命运吗

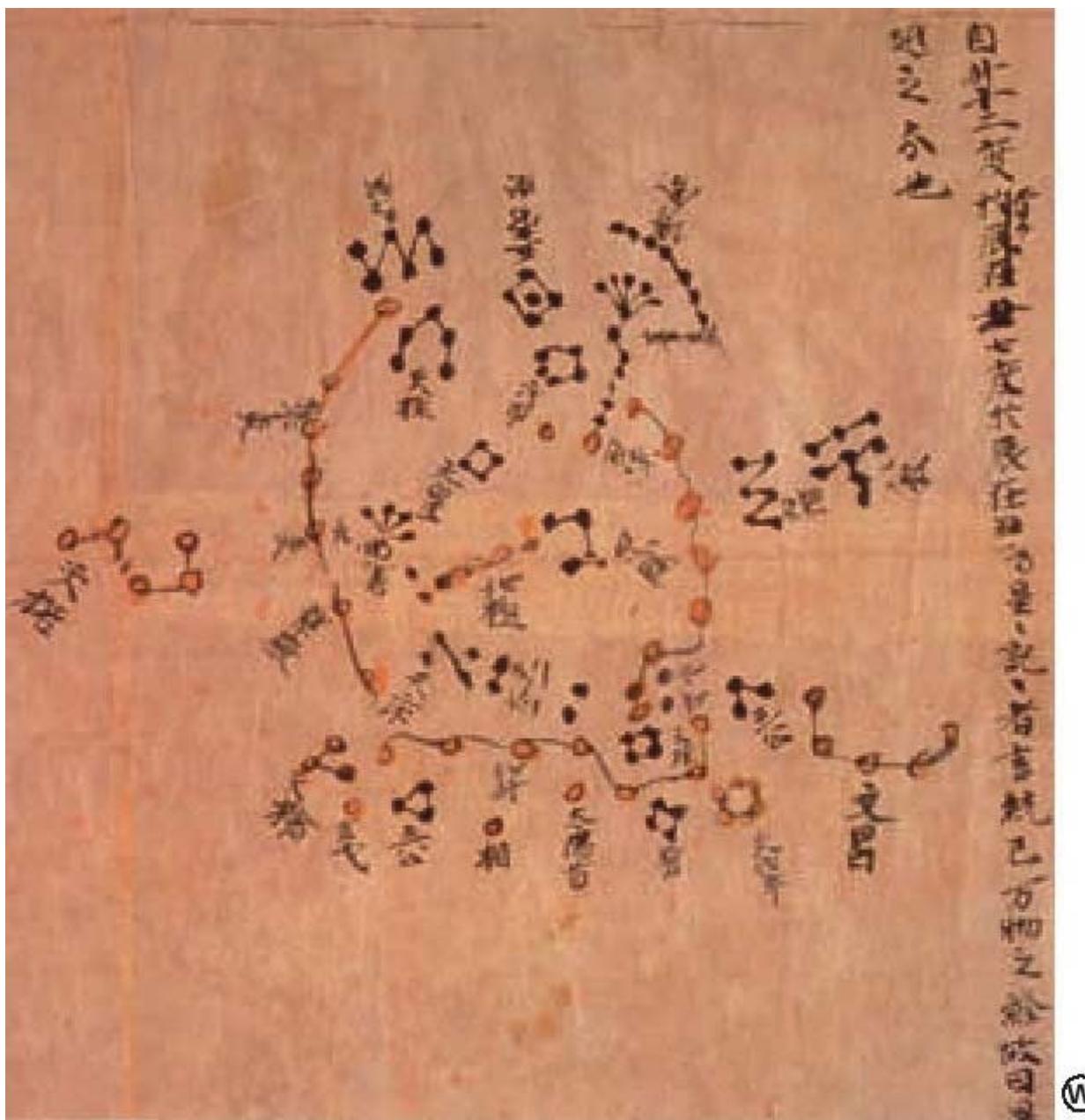
星座只是人为划分的天空区域，没有实质性的物理含义。同一星座中的恒星彼此并无物理联系，相距十分遥远，根本不存在“星座”这种实体。那些看似神秘的名称，只不过是古人想象的产物。所谓人出生时太阳位于哪个星座，他（或她）就属于这个星座，并据此推演出有关人的性格、命运、气质等的各种奇谈怪论，其实都是无稽之谈，毫无科学根据。认为星座运程和自己的命运“符合”，很可能是一种心理作用。人们容易把一些适合所有人的笼统描述认为是专门针对自己的描述，这称为“巴纳姆效应”。不信的话，你可以把某个星座运势的语句打乱后随机分配到其他星座，再问一问相信星座同命运有关的朋友，看看有几分符合。

【微问题】今天的黄道星座还是12个吗？

【关键词】星座 星等 黄道

为什么天文学家要使用星表

天文学家解开宇宙的奥秘是从记录星星的位置开始的。那些为星星编了号的表格索引就是星表。中国已知最早的星表是由战国时期的甘德、石申分别编写的，他们的原作早已失传。后人编撰的合集——《甘石星经》，时至今日也只剩下他人引用的只言片语。古希腊天文学家依巴谷编制的西方第一份星表也是因为在其后的另一位古希腊天文学家托勒玫的著作中被述及才为世人所知，其中包括1000多颗恒星的资料。



敦煌出土的唐代星图显示了北极附近的“三垣”天区



中国古人把接近赤道的天区分为“四象”，共二十八宿

后来天文学家不断编制更精确的星表。丹麦天文学家第谷在1576年建立了汶岛天文台，完成了望远镜时代之前最为精确的天文观测。后来德国天文学家开普勒根据第谷的观测资料，编制发表了《鲁道夫星表》，为他发现行星运动定律打下了可靠的基础。但是这时欧洲的观测者们从未见过南极附近的星空。1676年，年仅20岁的英国天文学家哈雷乘坐东印度公司的航船到达南大西洋上的圣赫勒拿岛，在那里建立了第一个南天观测站。3年后他发表了第一份《南天星表》，因而被誉为“南天的第谷”，获得牛津大学的学位并被选入英国皇家学会。

天空中不只有明亮耀眼的恒星，还有众多美丽的星云，它们也有自己的星表。18世纪的法国天文学家梅西叶在搜索彗星的过程中发现天空中有许多模糊的天体很容易和彗星混淆。他于是将110个此类天体编成表，

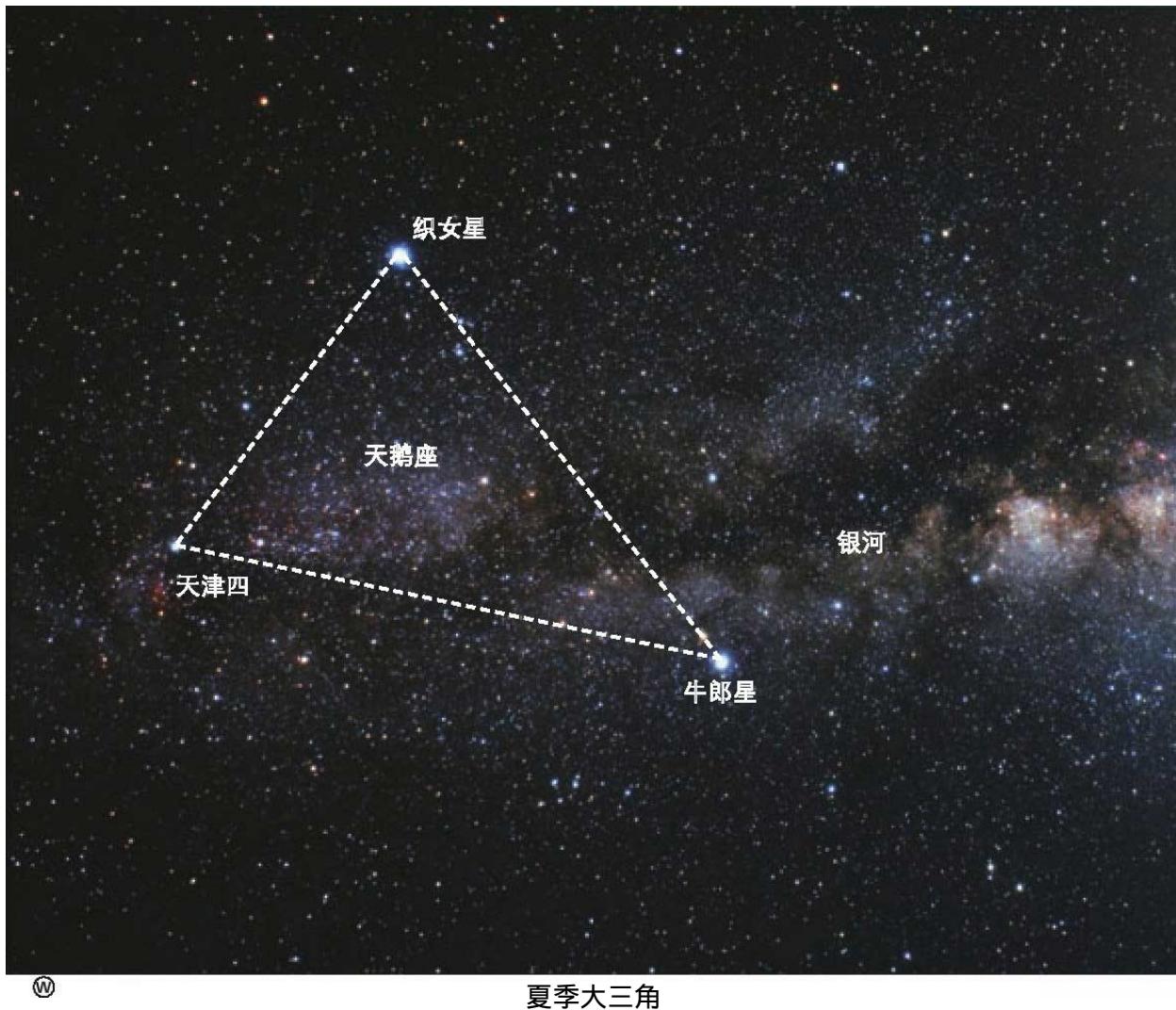
以“梅西叶星表”为名发表。我们今天知道，这些相对黯淡的天体既包括弥漫的星云，也包括密集的星团，还包括遥远的星系。此表今称“梅西叶星云星团表”，表中所列的那些美丽的天体，直到今天仍是天文学家和天文爱好者们频繁观测的目标。

经过400多年的观测积累，今天的星表类型已经非常丰富。从不同的天体类型到不同的观测波段，每一类天体都各有自己的星表。而且星表的内容也得到了极大的扩充，除了天体的位置之外，还包括距离、颜色、温度、光谱型、红移等许多信息。这些卷帙浩繁的数据曾经耗费了许多天文学家毕生的精力，现在我们可以通过互联网方便地使用这些成果。目前最大的天文星表数据库是由法国斯特拉斯堡天文数据中心开发维护的CDS数据库系统（<http://cdsweb.u-strasbg.fr>），所有历史上的重要星表以及最新的研究结果都能够在这个系统中统一查询。（余恒）

为什么杜牧在诗中说“卧看牵牛织女星”

唐代诗人杜牧在著名诗篇《秋夕》中写道：“银烛秋光冷画屏，轻罗小扇扑流萤。天阶夜色凉如水，卧看牵牛织女星。”夏秋之交，晴朗的夜空中，银河像一袭轻纱斜挂天际，牛郎织女隔河相望。牛郎星（天鹰座 α 星）两侧各有一颗小星，那是肩挑着的一双儿女，古称“河鼓三星”。比牛郎更亮的织女星（天琴座 α 星）孤寂地伫立对岸。十字形的天鹅座展翅翱翔在银河中央，尾羽上有一颗亮星，中文名天津四（天鹅座 α 星）。津一般指渡口，但组成中国古代星官“天津”的9颗恒星则像一条大船，横亘于银河中央，其中第4颗最亮。天津四与牛郎、织女形成的接近等腰的大三角形，称为夏季大三角，很容易找到。杜牧诗的最后一句，有的版本写作“坐看牵牛织女星”，但实际上“卧看”更具有合理性。因为“秋夕”指农历七月初七，大约在公历的8月上中旬，立秋节气前后，对于中国中原地区来说，夏季大三角位于头顶正上方，“坐看”或站着看会使人脖子发酸，难以坚持。这时暑热尚未退去，晚上人们在户外纳凉。刚刚嬉闹扑萤、玩累了的少男

少女们，躺在临时搭起的凉床上“卧看牵牛织女星”，浮想着有关牛郎、织女七夕相会的浪漫而凄美的神话故事，应当是非常自然而且惬意的享受。
(苏宣)



为什么杜甫有“人生不相见，动如参与商”的诗句

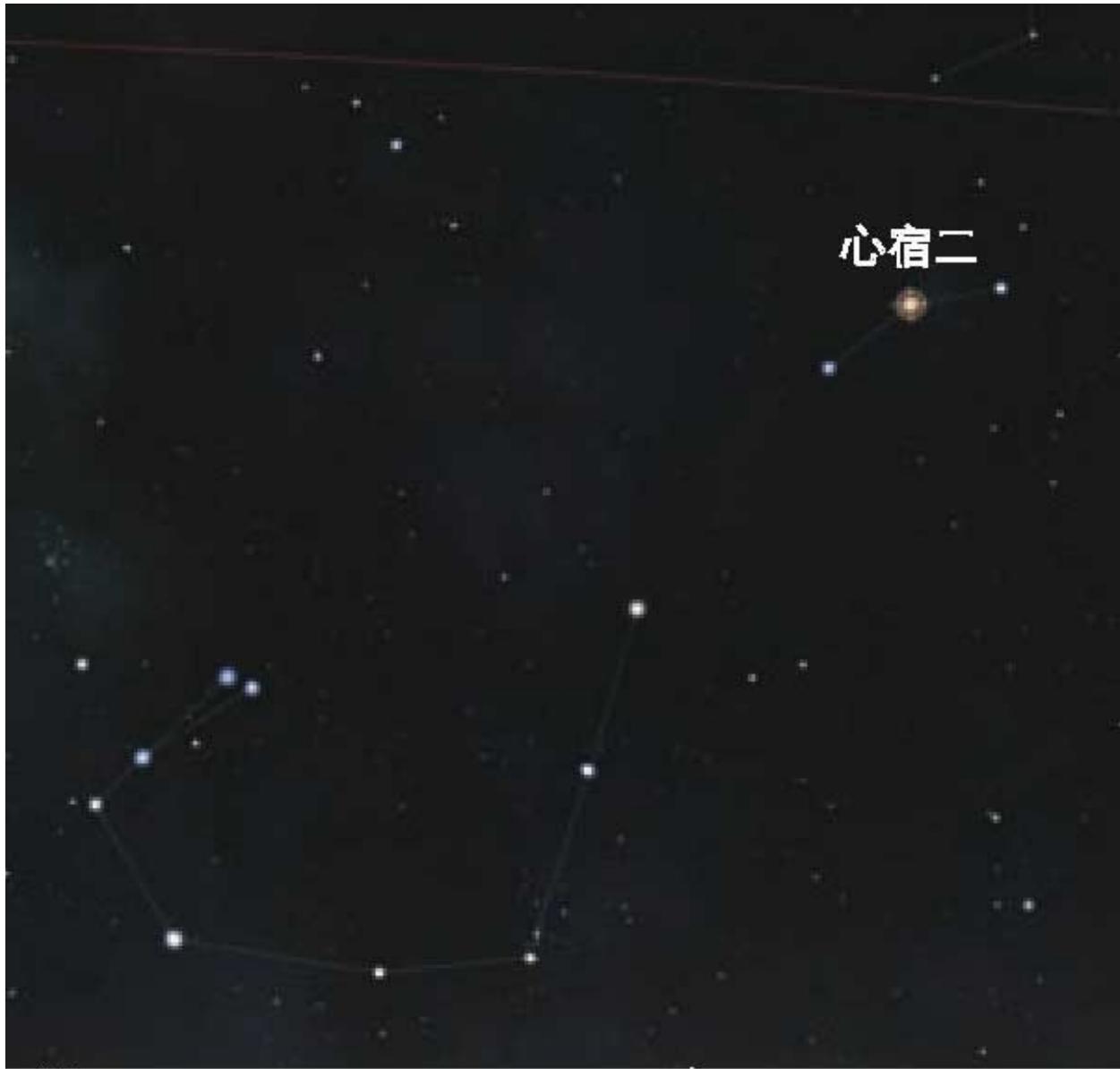
“参”与“商”是天上两组著名的亮星。参即“参宿”，中国古代划分的二十八宿之一，大致相当于猎户座，是冬夜天空中最为壮丽的星座。中央排成一线的三颗亮星，是猎户腰带上的三颗宝石，中国古称参宿三星，正好

位于天赤道上。在没有钟表的时代，它是漫长冬夜的天然的计时器。猎户左肩上的红色亮星是参宿四（猎户座 α 星），右膝下的蓝色亮星是参宿七（猎户座 β 星），都是超巨星，真实亮度比太阳大数万倍。“商”指夏夜星空中的红色亮星“心宿二”，又叫“大火”，其两侧各有一颗稍暗的星，合称心宿三星，是殷商时代判断季节指导农耕的重要星星。《诗经》“七月流火，九月授衣”，指的是农历七月“大火”星逐渐“流”向西方，盛夏将尽，农历九月之前要准备好过冬的衣服。心宿二属天蝎座，古巴比伦人将天蝎座想象为天上的一只大蝎子，硕大的躯体，弯弯的毒钩。杜甫名句“人生不相见，动如参与商”，意指盛夏出现的商星与隆冬出现的参宿此起彼落，永无见面的机会，以此抒发“安史之乱”中亲友离散、天各一方的感慨。（苏宜）



(Z)

猎户座

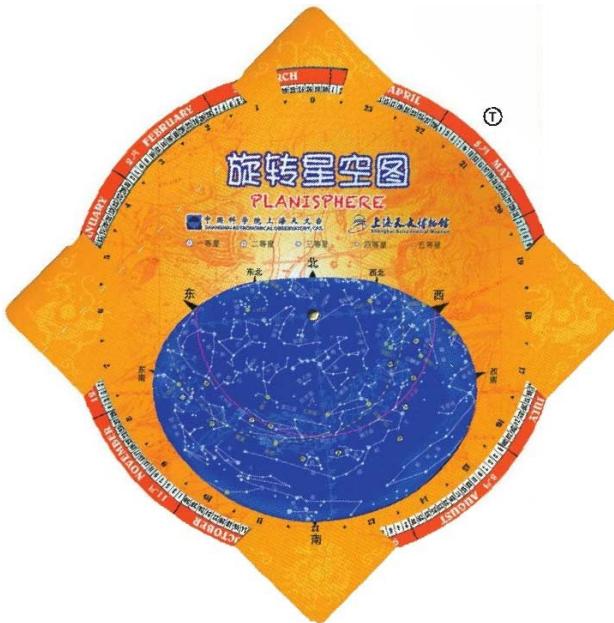


天蝎座

【实验场】星图的正确看法

对于普通人来说，要想在夜晚准确地辨识出某一颗星，最可靠的方法是用星图。星图是把天球上的星星投影到二维的平面上制成的，我们只要把星图举过头顶，就可以对照星空一一辨认了。要注意的是，星图上的东、西与地图的东、西截然相反，不是“左西、右东”，而是“左东、右西”。这是为什么呢？还是让我们回忆一下使用地图和星图的方法：当我们使用地图时，需要将地图平铺在桌子上，俯身低头观看，上面的方向即为“北”。而使用星图时，我们需要将星图举到头顶上，仰头面朝星图观看，如果头顶方向仍然保持“上北”，那么就要转身 180° 才行，这就使得东、西颠倒过

来。为了让星图东、西依然对应正确的位置，只能改为“左东、右西”了。



活动星图

【微问题】中国古代怎么划分星空？

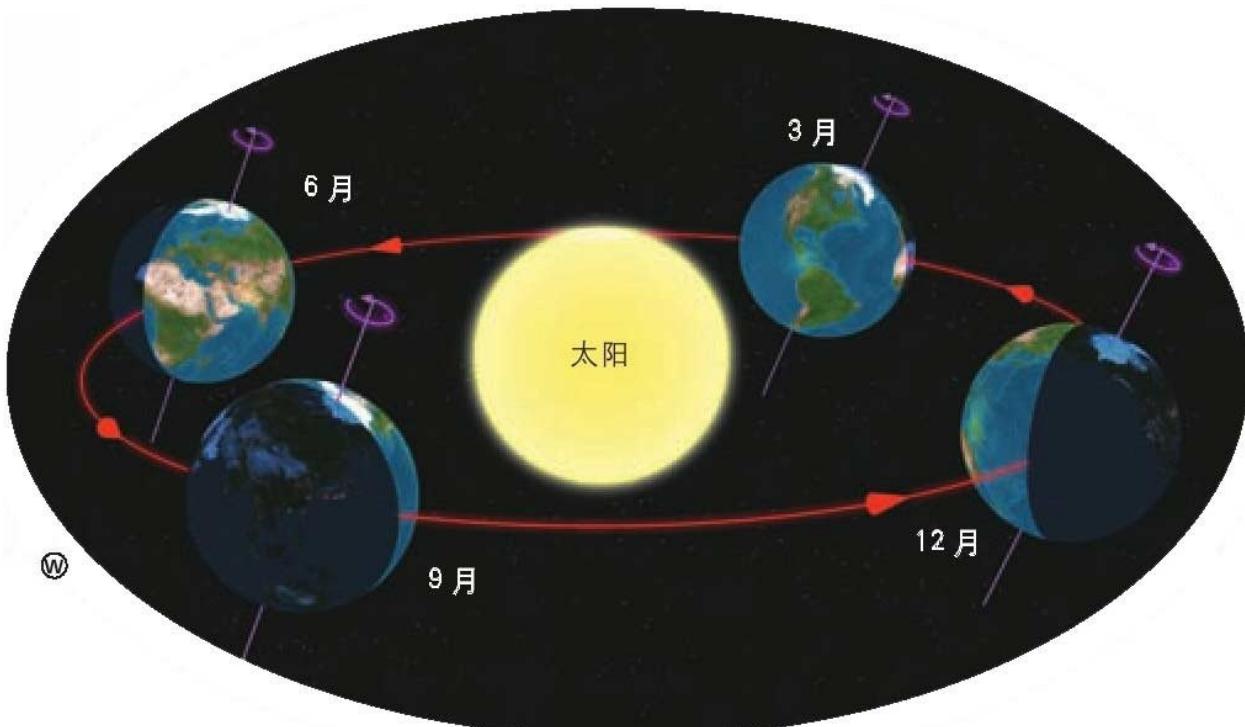
【关键词】星表 星图 夏季大三角

为什么昼夜长短总在变化

如果你稍加留心，就会发现每天白天和夜晚的长度都是变化的——夏天昼长夜短，冬天昼短夜长，而在春秋季节，昼夜长短差不多等长。这种现象究竟是怎么形成的呢？

要想得到这个答案，还得从昼夜的形成原因说起。地球是太阳系中的一颗行星，它环绕太阳运动，约365天公转一周。而在它公转的同时，它还像一个陀螺一样在自转运动。正是这种自转产生了昼夜更替——当太阳照射地球的一边时，这边为白天，而反面为黑夜。反之，当地球转到另一边时，这边就成了黑夜，而反面成为白天。

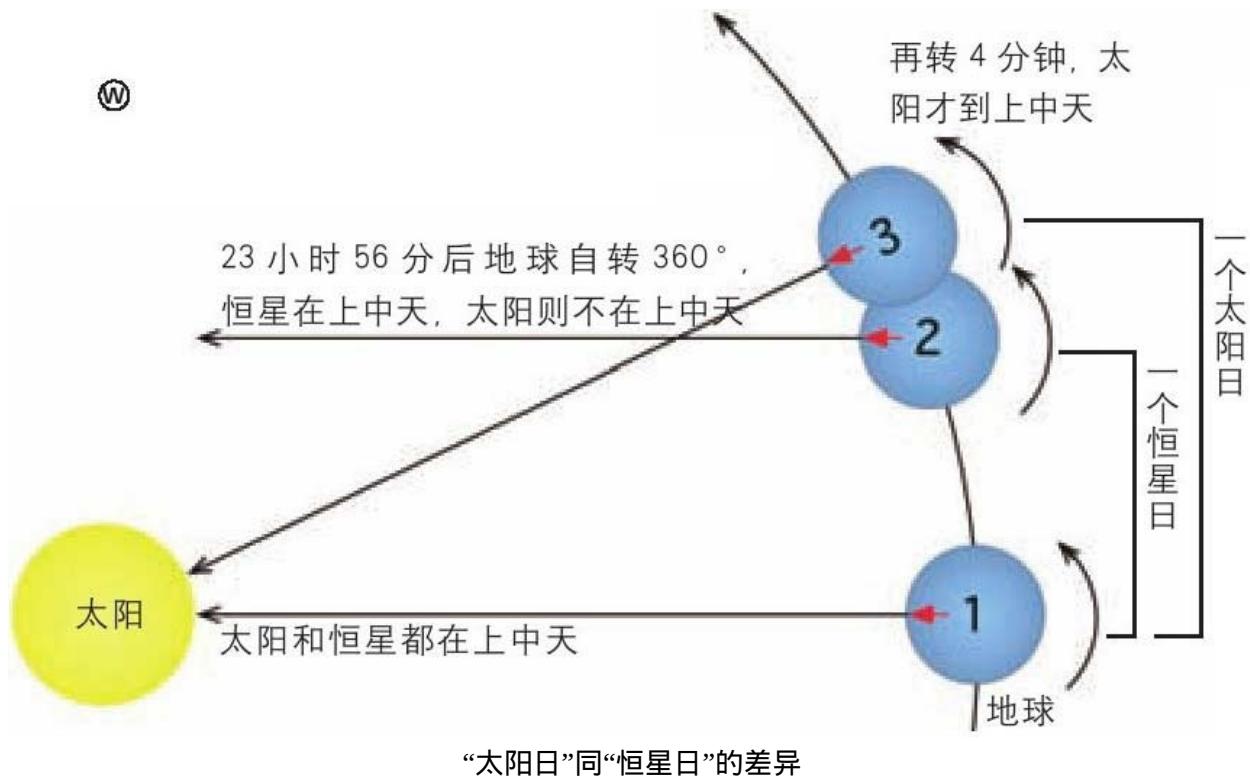
如果从远离地球的地方看地球，会发现黑的一面和亮的一面具有相等的面积，地球自转也是基本均匀的，那为什么我们会感觉昼夜长短发生变化呢？原来地球自转的赤道面并不是和公转平面（黄道面）重合的，而是呈一个夹角，大约是 23.5° 。这就意味着，在地球环绕太阳公转时，即使同一地点不同时间受太阳照射的角度也不相同！当地球运动到6月，太阳直射到地球北半球的时候，会发现北半球亮的一面比黑的一面大，也就是白昼时间长于黑夜，这就是我们所在的北半球的夏季。反之，当地球运行到12月，太阳直射到南半球时，会发现北半球黑的面积比亮的面积大，也就是黑夜长于白昼，这就是北半球的冬季。而在9月和3月，地球自转轴和太阳光垂直，北半球和南半球的黑夜和白昼长短就都一样了。



地球公转与自转示意图

这样看来，地球的公转和自转造就了四季，也造就了寒带、温带、热带等不同气候带。那么地球上有没有昼夜长短不发生变化的地方呢？有！在赤道上，白天和黑夜的长度就是永远相等的。而越往南北极靠近，昼夜长短的变化就越剧烈，到了南北极点，就会出现半年白天、半年黑夜的情况。在中国，海南岛的人们就不容易体会到日夜长短的变化，而在黑龙江漠河、新疆阿勒泰的人们，就知道夏天的白天比冬天长很多。（张超）

一天到底有多长



“太阳日”同“恒星日”的差异

“天”是我们熟知的时间单位，地球自转一周就是一天，可一天到底有多长呢？其实在天文学家眼中，“一天”有着不同的含义。

在北半球，一个天体运行到正南方向时，我们称这个天体位于“上中天”。太阳连续两次上中天的时间间隔，就称为一个“太阳日”，其时间长度约为24小时。如果这个天体是某颗恒星，那么它连续两次上中天的时间间隔就称为一个“恒星日”，其时间长度约为23小时56分。也就是说一个恒星日比一个太阳日短4分钟。这4分钟去哪里了？原来，因为地球在自转的同时还有公转，自转方向和公转方向大致相同。因此，太阳日把公转和自转的效果都合在一起，就是24小时。而恒星日只计入了地球自转，因此短了大概4分钟。

天文学家发现，无论太阳日还是恒星日，都不是一成不变的。如今世界上很多天文台都有极其精确的“原子钟”，它们利用原子稳定的振动来记录时间，使天文学家发现“天”这个时间单位居然有些微小的变化：3、4月地球转得稍慢，而8月转得稍快。这点小小的变化人们根本无从察觉，只能

用精确的原子钟才能发现。（张超）

为什么有些星星永不落下，有些星星又永不升起

太阳每天东升西落，天上的星星也是每天东升西落。有没有星星不会落下呢？有！在北半球的人会发现北极星就是一颗永不下落的星。而另一些星星则正相反，永远都不会升上天空。

我们看到的星星如何运动，取决于我们在地球上所处的位置。在北纬40°的北京，北极星的高度为40°，因此北天极直到北纬50°的星便不会下落。如果你站在地球的北极，北极星就在头顶，北天极直到赤道（地平线）的星都不会下落，这是怎样的景象？天上看得见的星星，都绕着头顶转，几乎没有星星会落下！如果你在地球的赤道上，则几乎所有的星都在做东升西落的运动！



在国际空间站上长时间曝光拍摄到的星迹图

那么，又是那些星星从来不肯升起呢？其实这和那些从不下落的星星

道理一样。在北纬40°的北京，既然北天极直到北纬50°的星永不下落，那么南天极直到南纬50°的星就永不升起。在北极，北半球的星永远待在天上，南半球的星都永不升起。而在赤道上，就没有永不上升，或者永不下落的天体了。

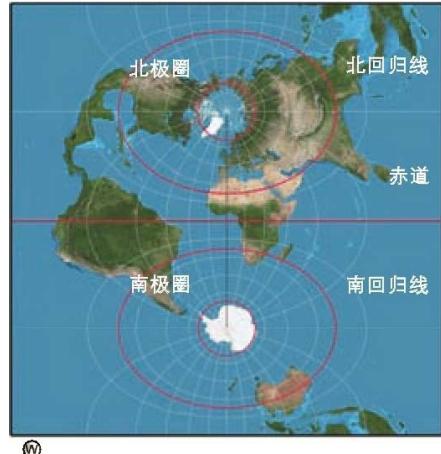
从星迹图可以直观地了解这一点。星迹图是镜头中心对着北极或南极长时间曝光后拍下的照片，星迹图中不被地平线阻挡的圆环就是不会落下的恒星划出的轨迹。（张超）

【微博士】什么情况下，太阳不会升起来

太阳每天升起，有太阳不露面的时候吗？有的！每年的春分日，太阳直射赤道，南极点就开始出现极夜，太阳不再升起。从这天起，南极圈内极夜的范围逐渐扩大，到了夏至日，太阳直射北回归线时，整个南极圈内都见不到太阳升起。反之，每年从秋分日开始，北极点出现极夜，太阳不再升起。从这天起，北极圈内极夜的范围逐渐扩大。到了冬至日，太阳直射南回归线，整个北极圈就都见不到太阳升起了。

【微问题】所有行星的恒星日都比太阳日短吗？

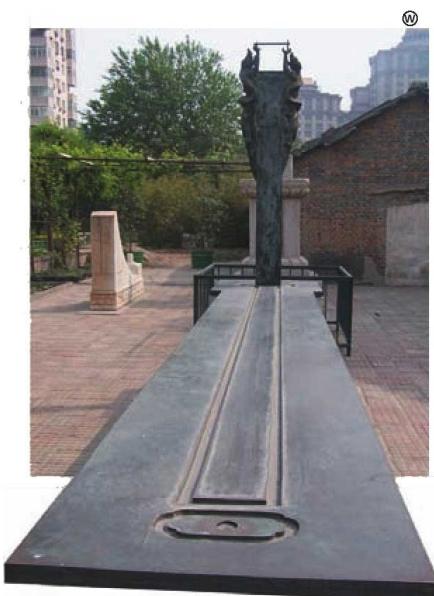
【关键词】太阳日 恒星日 四季 星迹图



望远镜发明之前天文学家怎样工作

望远镜发明之前，天文学家的主要工作是计量时间，观测天体的方位。

在中国，最古老的天文仪器是西周初期问世的圭表。它分为圭和表两部分。圭沿正南北方向水平放置，而表则竖立在圭的南端，并向头顶方向延伸。表的高度一般为“八尺”，顶部有一圆孔。正午时阳光射入圆孔，会在圭面上留下孔影。冬至时，在圭面上孔影离表底部的距离最长；夏至时则距离最短。中国古代把圭面上孔影最长的冬至到下一年冬至的时间间隔定为一回归年。



陈列在北京古观象台的圭表

圭表主要是用来计量时间的，而中国古代测量天体坐标位置常用的仪器是浑仪，它由瞄准待测天体的窥管、反映各种坐标系统的读数环、支承结构和转动部件等构成。当窥管对准待测天体后，就可以从多组环圈读出天体的几种坐标。北宋元祐年间，苏颂、韩公廉制作了元祐浑仪。元祐浑仪后来安装在他们两人在元祐七年（1092年）建成的水运仪象台中，该台高12米、宽7米，分为上、中、下3隔。上隔放元祐浑仪，中隔放浑象（可用于演示天象，类似现今的天球仪）；下隔的前部是一个由木偶出入报时的五层木阁，后部则是均匀挂满36个

水斗的巨大枢轮，作为动力装置。这一动力装置不仅能驱动五层木阁中的木偶出入报时，而且还能使元祐浑仪的窥管以及浑象每过几分钟转过一个角度，从而起到跟踪天体运动的作用。元祐浑仪的屋顶可以开启，已开创了现今天文台活动屋顶的先河；而它的窥管能间歇性地跟踪天体，则是现代望远镜中转仪钟的祖先。可见水运仪象台的研制者何等聪慧！

16世纪晚期，丹麦天文学家第谷在汶岛建立了天文台，安装了自己精心设计的十多台古典天文仪器。其中最著名的一台是结构独特的墙象限仪，它安装在一堵正南北方向的墙上，主要部件是一个半径1.8米、刻度精细的90°铜圆弧，其上有一瞄准器，观测者可以通过它测定南侧墙的上部长方形孔中所见的星的位置。这台墙象限仪可测得天体过子午圈时的地平高度，即天体方向对地平面的倾角。第谷研制的古典天文仪器结构精细，天文观测的精度很高。后来德国天文学家开普勒利用第谷留下的观测资料，得出了著名的行星运动定律。（汤海明）



W

用业余天文望远镜能看到什么

并不是只有专业大型望远镜才能进行天文观测，天空中的一些较大、较亮的天体，利用业余天文望远镜就可以欣赏。实际上，伽利略、牛顿时代的专业望远镜还不如今天的中高级业余望远镜性能好呢。如果我们将望远镜对准月球，可以观察到月球表面布满大大小小的环形山。我们把望远镜对准土星，环绕在土星周围的光环会让我们觉得十分有趣。将望远镜指向银河，我们会发现那缥缈的天河原来是由无数的星星所组成。而当我们使用较高质量的望远镜时，就可以对夜空中的天体做更仔细的观察。我们可以观察到金星的盈亏现象，木星表面的条纹和大红斑，甚至看到火星的极冠。在观察环境较好的山区，我们还可以通过望远镜找到宇宙中那些神秘而美丽的星云和星系。

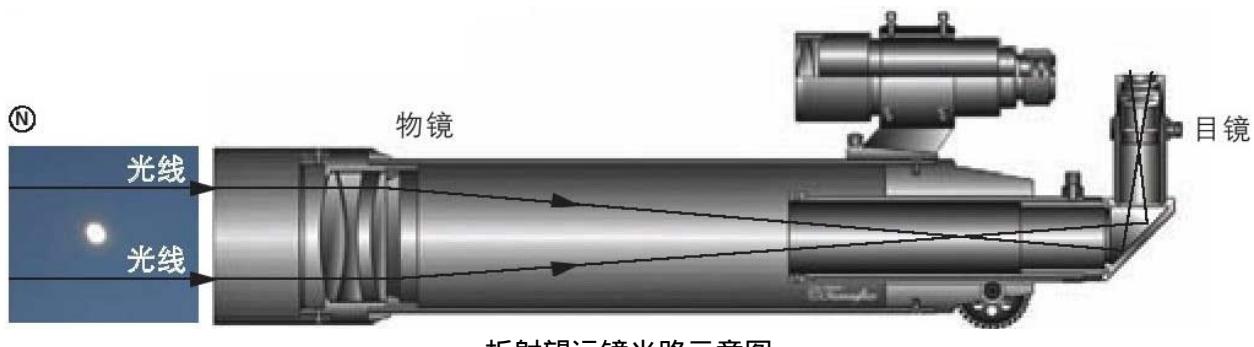
那么，我们该如何选择自己的望远镜呢？

首先要明确观察目标的特点。比如说，当你所要观察的是明亮且细节丰富的天体，比如月球、土星、木星时，那你便需要一台物镜焦距较长的天文望远镜，这有利于你获取较大的放大倍率；当你所要观察的是暗淡的遥远星云、星系之类的目标，那便需要一台物镜焦距较短的望远镜，以获得较大的视场和较高的反差。其次，要考虑望远镜的口径。因为口径决定了望远镜分辨率，也就是说口径越大的望远镜成像可以更清晰。但口径大了不但价格更高，也限制了你随身携带的可能，所以需要在口径与便携性上找一个适合个人的平衡点。还有，同样光学形式和口径的望远镜价格可能也会有很大差距，这主要是由于制造精度不同造成的。制造精度较高的小口径望远镜的观察效果，经常超过那些粗制滥造的大口径望远镜。因此，具有适当焦距，有较高光学品质，并且在经济上自己能够承受的前提下，口径较大的望远镜是最适当的选择。



业余望远镜中的月球

不过，很多有趣的天体仅凭肉眼通过望远镜观看，还是难以看清的。这时我们需要借助一部单反照相机来代替我们的肉眼，对宇宙深处的暗淡天体进行观察，以便发挥业余天文望远镜更大的效能。（汤海明）



折射望远镜光路示意图



N

第一架天文望远镜是谁制作的

1608年，荷兰眼镜商利伯希偶然发现，把一块凹透镜和一块凸透镜放在一直线上可以把远的物体拉近。于是他把两块透镜一前一后装进一个圆筒内，制成了世界上第一架望远镜，并将这一发明上报荷兰最高行政长官。后者让他为荷兰海军制作了一批这样的望远镜。所以很多人认为利伯希就是望远镜的发明者。他的邻居，另一位眼镜制造商詹森则争辩说，自己在多年前就发明了望远镜，他应该拥有这项发明的优先权。但詹森没有及时公布和上报自己的发明，所以得不到大部分人的认可。



1609年，当时正在帕多瓦大学执教的伽利略听到了荷兰人发明望远镜的消息，他从眼镜铺买来一块平凸透镜和一块平凹透镜分别用作物镜和目镜，也制成了一架望远镜。经过不断改进，最后他制成了一架口径4.4厘米、镜筒长1.2米、放大率30多倍的较优良的望远镜。伽利略率先将望远镜用于天文观测，作出了许多发现。（宣焕灿）

伽利略制作的望远镜

【科学人】伽利略

伽利略（1564—1642），意大利物理学家、天文学家，实验物理学的奠基人，天文望远镜的发明者、望远镜天文学的开创者。他通过望远镜发现了月球上的环形山、木星的卫星、土星的光环、金星和水星的盈亏，在太阳上发现了太阳黑子，通过太阳黑子发现了太阳的自转，并且发现银河原来是由大片恒星聚集在一起形成的。他的观测结果有力地支持了哥白尼的日心说。1632年，他出版了《关于托勒玫和哥白尼两大世界体系的对话》，因此被教会判处终身监禁。监禁期间出版了名著《关于两门新科学的对话》，总结了一生力学研究的成果。

【微问题】单筒望远镜和双筒望远镜各有什么好处？

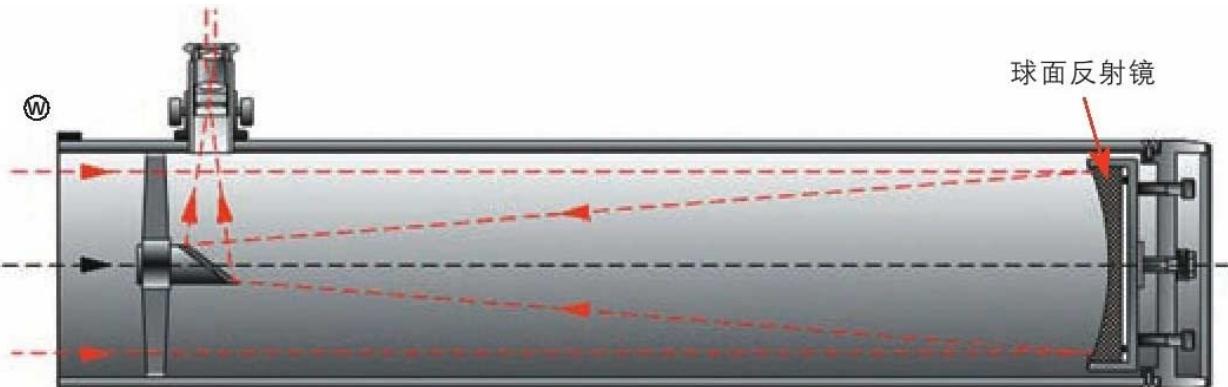
【关键词】圭表 浑仪 望远镜 口径 焦距



为什么当代大型望远镜多是反射望远镜

天文望远镜按照光学结构不同，可以分为两大类：折射式和反射式。最早的望远镜利用透明镜片对光的折射作用来成像，这就是“折射望远镜”。伽利略首次用于天文观测的折射望远镜就称为“伽利略式”望远镜。折射望远镜存在多种像差，特别是一种叫作“色差”的像差可以说是折射望远镜的天生缺陷，它会把一个点变成一个色斑。当时减小色差的方法只有将焦距变长，于是人们制造了很多机身极长的折射望远镜，例如17世纪的著名天文学家赫维留斯制造的一架折射望远镜，长达40多米，使用起来十分不方便。

色差是由于玻璃对不同颜色光的折射率不同造成的。牛顿发现了完全克服色差的方法，即不让光线在玻璃的内部产生折射，而是通过凹面镜的反射来成像。据此牛顿设计出一种望远镜，后来称为“牛顿式”望远镜，这种望远镜没有用透明的玻璃片，而是用了一块凹的球面反射镜。球面反射镜与透镜一样，也可以汇聚光线。用它制成的望远镜叫作“反射望远镜”。



牛顿式反射望远镜光路示意图

牛顿曾经预言折射望远镜无法解决色差问题。不过，后来人们用不同种类的玻璃结合在一起，制作出了消色差的折射望远镜，甚至是高级的复消色差望远镜。这些望远镜成像比当时的反射望远镜更明锐，观测视场更大，成为天体照相和天体测量的利器。然而，随着人们需要口径越来越大

的望远镜来探测暗弱的遥远天体，折射望远镜又变得力不从心了。由于光线要进入玻璃的内部，这对镜片内部质量的要求很高；消色差的望远镜物镜至少包含两片镜片，这样就需要研磨四个表面；镜片又厚又重，不但增加了镜筒的负担，还对光线存在严重的吸收。目前，世界上最大的折射望远镜口径为1.02米，是100多年前建造的，安装在美国的叶凯士天文台。此后人们再也没有尝试建造更大的折射望远镜。

相比之下，反射望远镜对光线没有严重的吸收，制造起来也简单许多，可以把口径做得很大，于是成了当今世界大多数天文台的选择。20世纪中期，5米级的反射望远镜已经投入观测，并且带来了许多重要发现。20世纪末，人们制作了10米级的反射望远镜，如今科学家又在努力研制30米甚至40米口径的反射望远镜。在“口径为王”的专业望远镜中，如今理所当然成了反射望远镜的天下。（姜晓军）

为什么需要折反射望远镜



施密特-卡塞格林折反射望远镜及其光路示意图

20世纪前叶，德国人施密特设计了一种同时具有球面反射镜和透射玻璃镜片的望远镜。这种望远镜的主体是一个球面反射镜，负责汇集光线并成像，在球面反射镜的前面加一块有着特殊曲率的改正透镜，可以有效地改善视场边缘的成像质量。施密特设计的望远镜有着其他望远镜没有的优势——能够清晰成像的范围很大。后来人们将这种球面反射镜与改正透镜相结合的望远镜称为“折反射望远镜”，而施密特设计的这种折反射望远镜，就称为“施密特望远镜”。

施密特望远镜有一个问题：那块曲率复杂的改正透镜非常难磨制，这如何是好呢？苏联光学家马克苏托夫设计出一种较为简单的折反射望远镜，将那块复杂的改正透镜换成厚厚的弯月形玻璃透镜，同样可以达到增大视场的目的。这种折反射望远镜后来被称为“马克苏托夫望远镜”，因为其造价相对于施密特望远镜更加低廉，在小型望远镜上应用颇多。



马克苏托夫-卡塞格林折反射望远镜及其光路示意图

折反射望远镜的优点是视场很大，适合于做“巡天观测”的工作，也就是对大天区中的多个目标同时进行观测。普通的望远镜由于视场小，巡天的效率很低。有了大视场的折反射望远镜之后，巡天的效率大大提高。同时，折反射望远镜还有多种变型，比如施密特-卡塞格林望远镜和马克苏托夫-卡塞格林望远镜，虽然视场并不很大，但是结构紧凑且成像质量优良，

广泛应用于天文爱好者使用的科普望远镜。（姜晓军）

为什么天文望远镜越大越好

如果你有机会到天文台去参观，肯定会惊叹于那些个头巨大的望远镜！每个望远镜都如同大炮筒，口径大的可以轻易装下一个人，口径小一些的用双臂也抱不过来。天文学家就是靠这些家伙来观测遥远天体的。为什么要用口径巨大的望远镜进行观测呢？它们有什么优势呢？

我们见到的这些望远镜，有一个统一的名字叫“光学望远镜”，接收的是遥远天体传过来的可见光。由于距离遥远，这些天体传过来的光都很暗弱。如何才能把这些暗弱的光线收集起来呢？这就如同在下雨时，我们用盆来接雨水，若是想在同样时间内多接一些雨水，最好的办法就是使用口径尽量大的盆。同样，要收集更多的光线，就需要望远镜具有更大的口径。人眼瞳孔的直径在黑暗环境下可以达到7毫米，如今世界上最大的光学望远镜口径达到10米，按照面积之比，是人眼收集光线能力的200万倍。这就是大望远镜的威力！



W

坐落在中国科学院国家天文台兴隆观测基地的郭守敬望远镜

不过，大望远镜的威力还不仅如此。通过望远镜，我们总希望看到天体更加清晰的细节，比如观测一个星团，我们期望能将其中一颗颗星“解析”出来，而不喜欢看到一堆星挤在一起模糊一片。光学中有这样一个定律，望远镜的分辨本领与口径成正比，也就是说，口径越大的望远镜，就能分辨出越精细的天体信息。看来大望远镜不但能够收集更多的光线，使我们看到更暗弱的天体，还能“看”得更加清楚。（姜晓军）



上海佘山65米口径射电望远镜

【微博士】中国的大型望远镜

由于大望远镜的巨大威力，中国也在努力建设大型望远镜。2008年，中国的大天区面积多目标光纤光谱望远镜（简称LAMOST，后正式命名为“郭守敬望远镜”）在国家天文台兴隆观测基地建成，其主镜直径接近7米，由37块六角形小镜组成，可以同时跟踪4000个目标。2009年开始在上海佘山建设的可动镜面射电天文望远镜，口径达到65米，在亚洲排名第一。中国正在建设全球最大的“500米口径球面射电望远镜”（简称FAST）。中国还参与了一些大型望远镜的国际合作项目，比如由美国和加拿大发起建造、台址在美国的30米口径望远镜（简称TMT）。

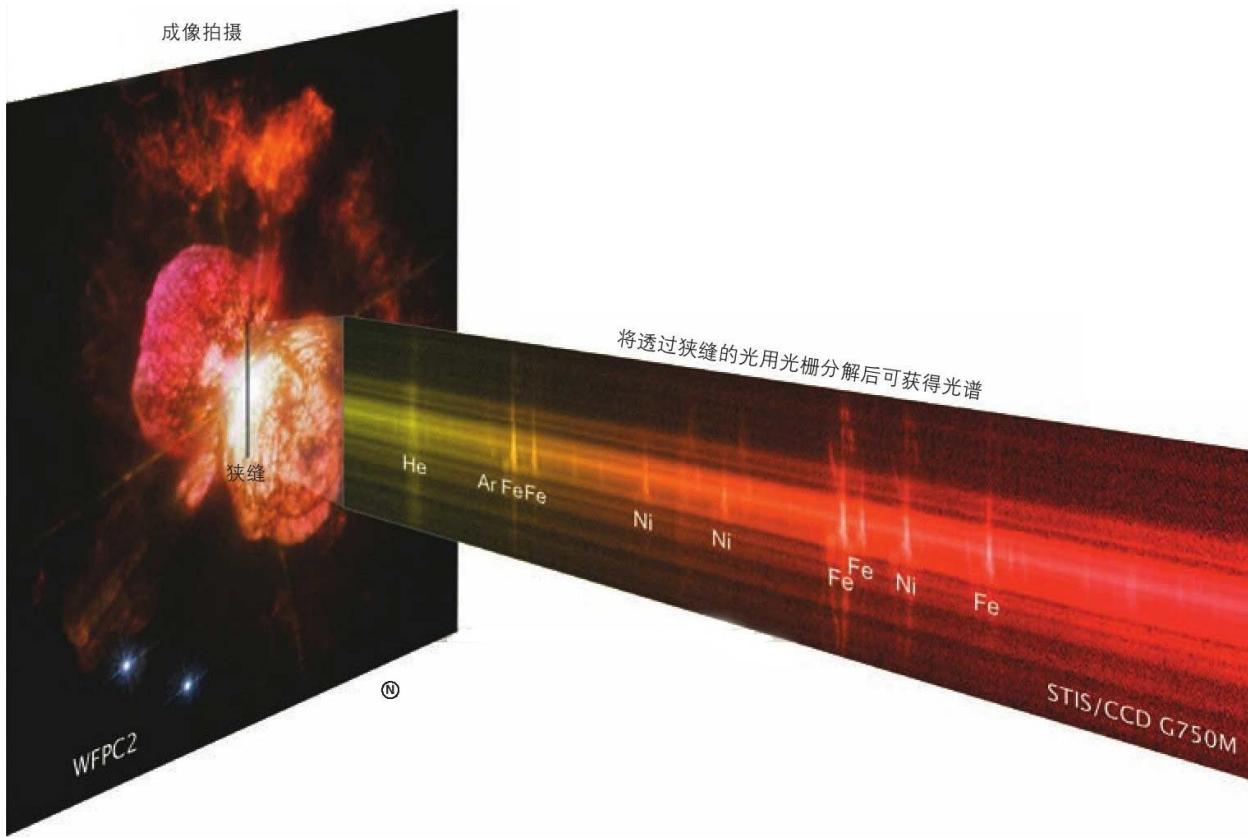
【微问题】望远镜的镜面为什么多数是圆形的？

【关键词】光学望远镜 反射望远镜 折反射望远镜 郭守敬望远镜

为什么天文学家老是要给星星拍照

在照相技术发明以前，天文学家都是用眼睛观测，素描记录。伽利略就在纸上记录过木星与其4颗主要卫星位置的图。但素描记录毕竟速度慢、误差大。照相术发明以后，天文学家终于有了可以实时记录观测目标的工具。通过对照片的分析，天文学家可以细致地研究星星长什么样，温度有多高，运动速度有多快，甚至分析星星的年龄、内部化学元素的组成等天文课题。为此，天文学家设计了各种特殊的照相机，它们拍的照片主要可分为三个大类，天体的形态拍摄（成像），天体的光谱拍摄（成谱），天体随时间的变化（光变）。通过这些照片，我们可以看到千姿百态的恒星、星云、星系，可以研究它们的结构，例如旋涡星系的核心结构、旋臂结构、周围晕的结构等；可以了解它们的化学组成和物理状态，比如含有什么元素，温度有多高；还可以通过不同时间拍的照片，了解它们的亮度变化。

天文学家给星星拍的照片往往不能直接使用，要通过复杂的处理、分析，最后才能得出可靠的结论。天文学家用来分析天体照片的基本理论依据就是天体的辐射机制。所谓辐射，主要是指天体发出的电磁波。它们是构成天体物质的原子、分子在不同的物理条件下所发出的“光”。不同的光，背后对应的物理机制与化学成分都不一样。比如天文学家就是通过对太阳光谱的拍摄，再通过太阳表面的辐射模型、大气结构模型，最后来确定太阳表面的温度、压力和化学成分。



船底座 η 星云光谱中的发射线和吸收线显示出多种元素的存在

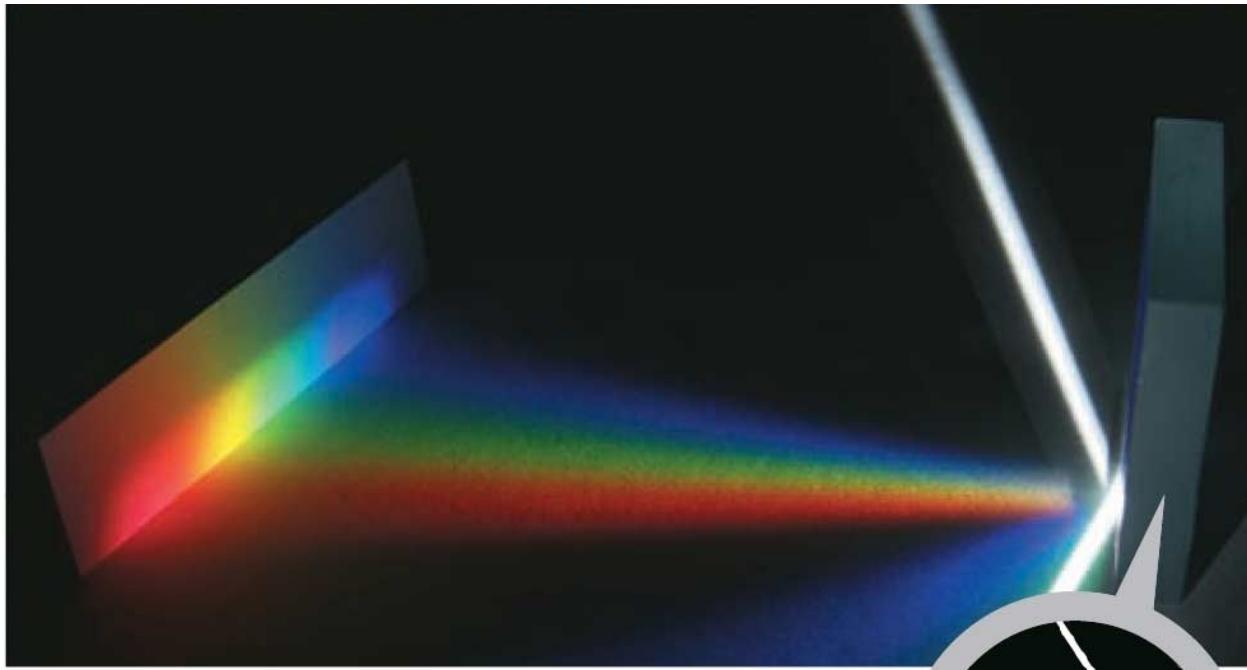
也许你很快会提出一个问题，为什么要用照相而不用录像呢？这是因为，除了太阳等特殊天体外，大部分天体到达地球上的光是非常非常弱的。以我们目前的技术水平，还无法做到清晰的录像。天文学家拍一张清晰的照片往往需要曝光1小时或更长。只有这样，才能累积足够的光子，构成足够的信息供科学分析。

可以说，现代天文学的发展，就是靠一堆堆星星照片发展起来的。从曾经几百元人民币一张的照相玻璃干版，到现在几百万元的CCD照相机；从一个晚上几十兆比特数据，到一张照片就包含上百兆比特数据。在这些星星照片的背后，是天文学综合着其他学科共同发展的历程。（李旻）

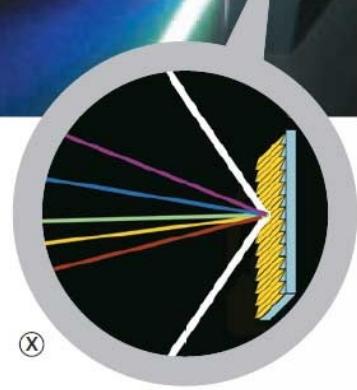
为什么天文学家对光谱那么感兴趣

一束光，通过特殊的光学器件，例如三棱镜、光栅等，可以分解成一列不同波长的光，它们所形成的图案，就叫光谱。自然界中最常见的光谱就是雨后的彩虹。第一个对光谱进行认真观察和分析的是牛顿。他用三棱镜获得了太阳光谱。后来，物理学家、天文学家开始对太阳光谱与恒星光谱进行大量的分类、研究，取得了一些基本的光谱知识。它们光谱中的某一具体位置会产生特定的线，称为谱线。谱线的性质与天体中含有的元素以及它们的丰度、电离状态相关。按照这个线索，天文学家通过研究恒星光谱，逐渐了解了组成这些恒星的元素，并确定了它们的组成比例。

随着人类对光谱分类以及恒星大气模型的了解更加深入，光谱的作用就不仅仅是用来辨认恒星大气的元素组成，还用于研究恒星结构、演化。到了20世纪60年代，随着计算机的广泛应用，科学家对天体物理的辐射机制有了更细致的了解。天文学家把实际观测得到的光谱同用各种不同的辐射模型计算得到的光谱相对照，来推断光谱背后蕴藏的信息。例如通过超新星遗迹的光谱，可以判断这个超新星遗迹处于演化的哪个阶段；通过原恒星系统的红外光谱，来推测原恒星的成长阶段，研究恒星是怎样诞生的。



⑤ 光栅可以把白光分解成多色光

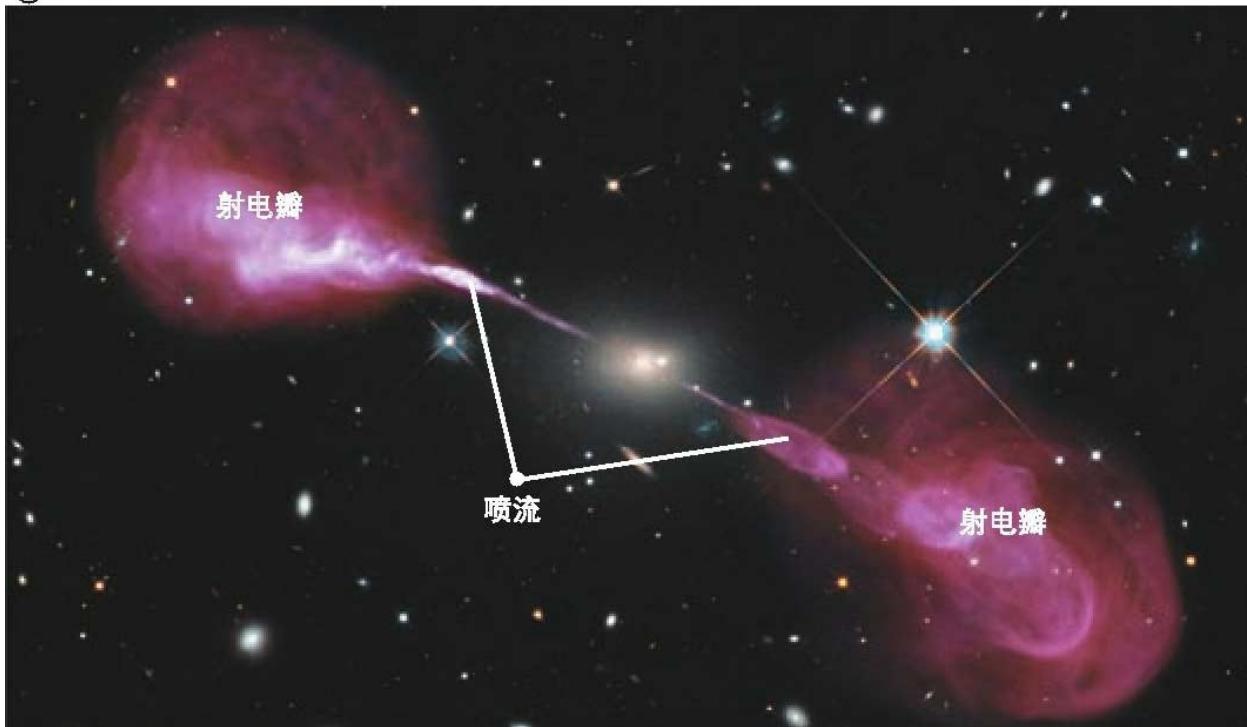


光栅局部放大

获得天体的光谱，天文学上称为分光。随着望远镜口径越来越大，分光设备越来越先进，现在从射电、红外、可见光直至高能伽马射线，天文学家可以在所有波段进行分光观测。所得的光谱将给我们揭示更多的宇宙奥秘。（李旻）

为什么不同波段的望远镜看到的星空互不相同

(N)



射电星系武仙座A的巨大喷流和射电瓣

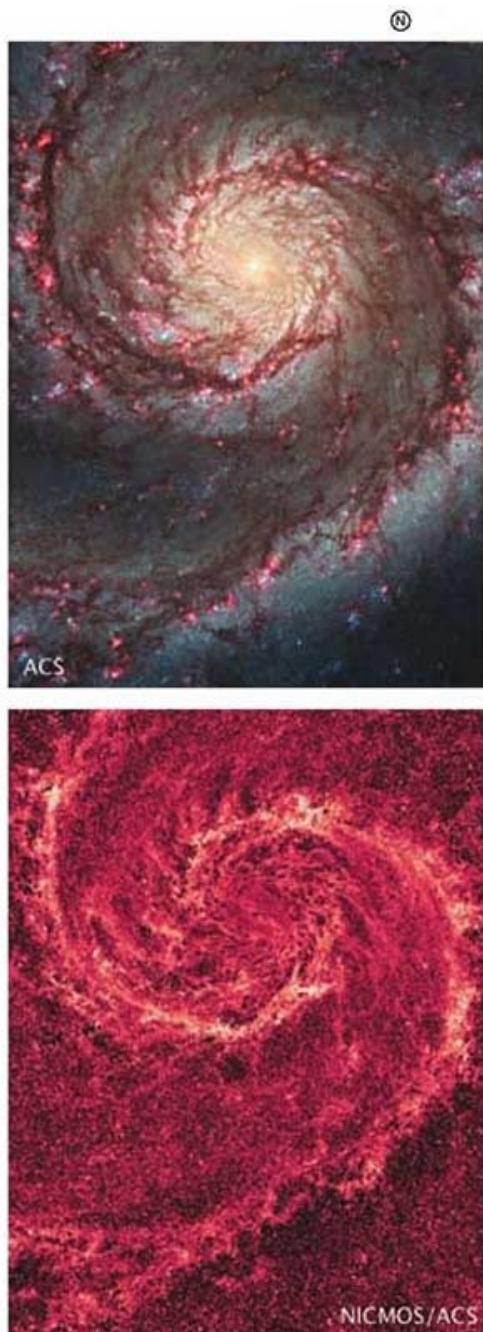
天文学家一直用工作在不同波段的望远镜观测天体：从高能的伽马射线、X射线，到紫外线、可见光、红外线，再到射电波。这是因为，天体的辐射是多波段的，天文学家可以通过不同波段的望远镜，看到同一个天体的不同侧面。

在无月的夏夜，银河异常灿烂，我们可以清晰地看到银河中有一片片黑色的区域，这是些厚厚的尘埃云，把后面的星光遮住了。虽然它们在可见光波段是黑色的，但如果用一台红外望远镜或射电望远镜，我们会发现这些尘埃变得非常明亮。尘埃也在发光吗？确实，大部分天体都在发“光”，只是波段不同。冷冷的星际尘埃云主要由分子和尘埃颗粒构成，它们发射的主要是波长较长的射电波和红外线，因此用其他波段的望远镜，就看不见它们了。

宇宙中还有些现象难以用可见光望远镜看到，比如有一种特别明亮的天体叫“类星体”，人们猜测它的中心有一个超大质量黑洞。在光学波段，类星体往往只是一个无法分辨的点，但天文学家用X射线和伽马射线望远

镜看到了从类星体中心喷出的“喷流”，而使用射电望远镜还能看到延展得更远的巨大的射电“瓣”。

因为一个天体往往辐射各种波段的电磁波，所以天文学家如果只用一个波段进行观测就好像“盲人摸象”，只能了解天体的一个侧面，只有多波段观测才能够全面地了解天体。（李旻）



旋涡星系M51的光学像（上）和近红外像（下）

【微博士】望远镜究竟能够看多远

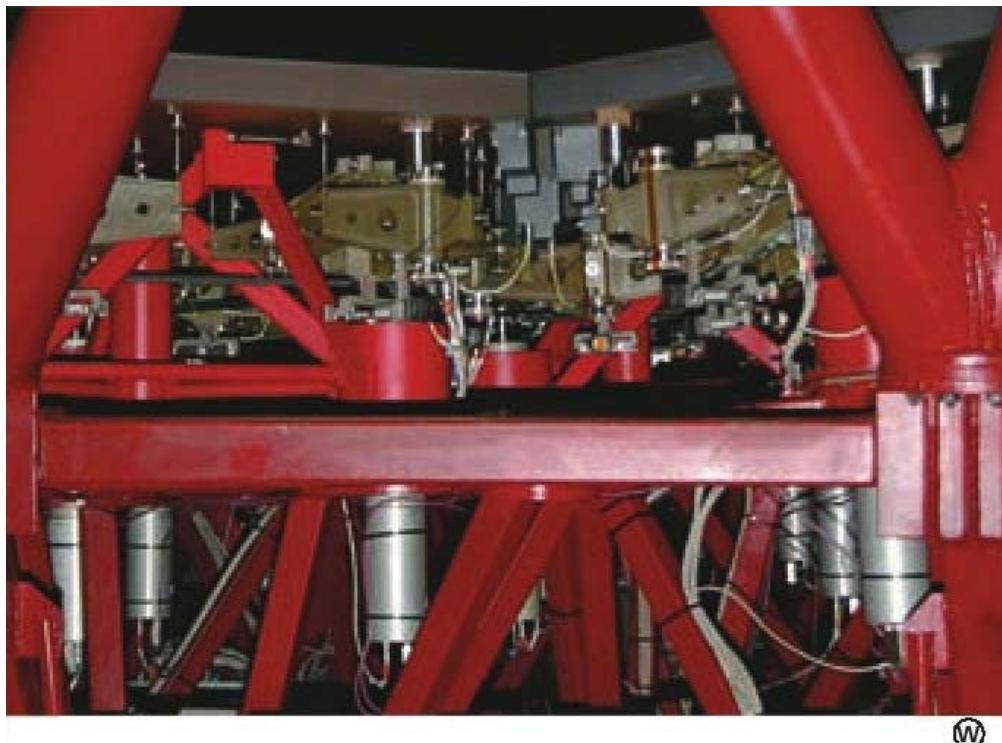
很多人看到望远镜都会问“它能看多远”。其实望远镜看多远与目标源的亮度有关。即便距离非常远，只要目标足够明亮，望远镜依然可以观察到；反之即便距离足够近，如果目标很暗，望远镜也很难发觉。因此，对于望远镜，真正有意义的性质在于：“望远镜能看多暗”。业余天文望远镜已经能看到数千万光年之外的星系，但难以看到太阳系之内的小行星。目前，专业的天文望远镜能观测到的最远星系远在130亿光年以外，此时的宇宙才刚刚诞生不久。

【微问题】为什么天文学家不用棱镜来分解星光？

【关键词】天体光谱 多波段观测

为什么巨型望远镜要利用主动光学技术和光纤技术

使用大口径的望远镜观测天体，可以得到高分辨率的影像。然而望远镜口径越大，受到系统、环境的影响也就越显著。比如，镜面的转动会使镜面因重力变化而变形，温度的变化会让镜面和机械结构产生热胀冷缩，这些情况都会让望远镜的成像质量下降。



W

加那利大型望远镜镜面后的主动光学顶杆，用以调节镜面形状

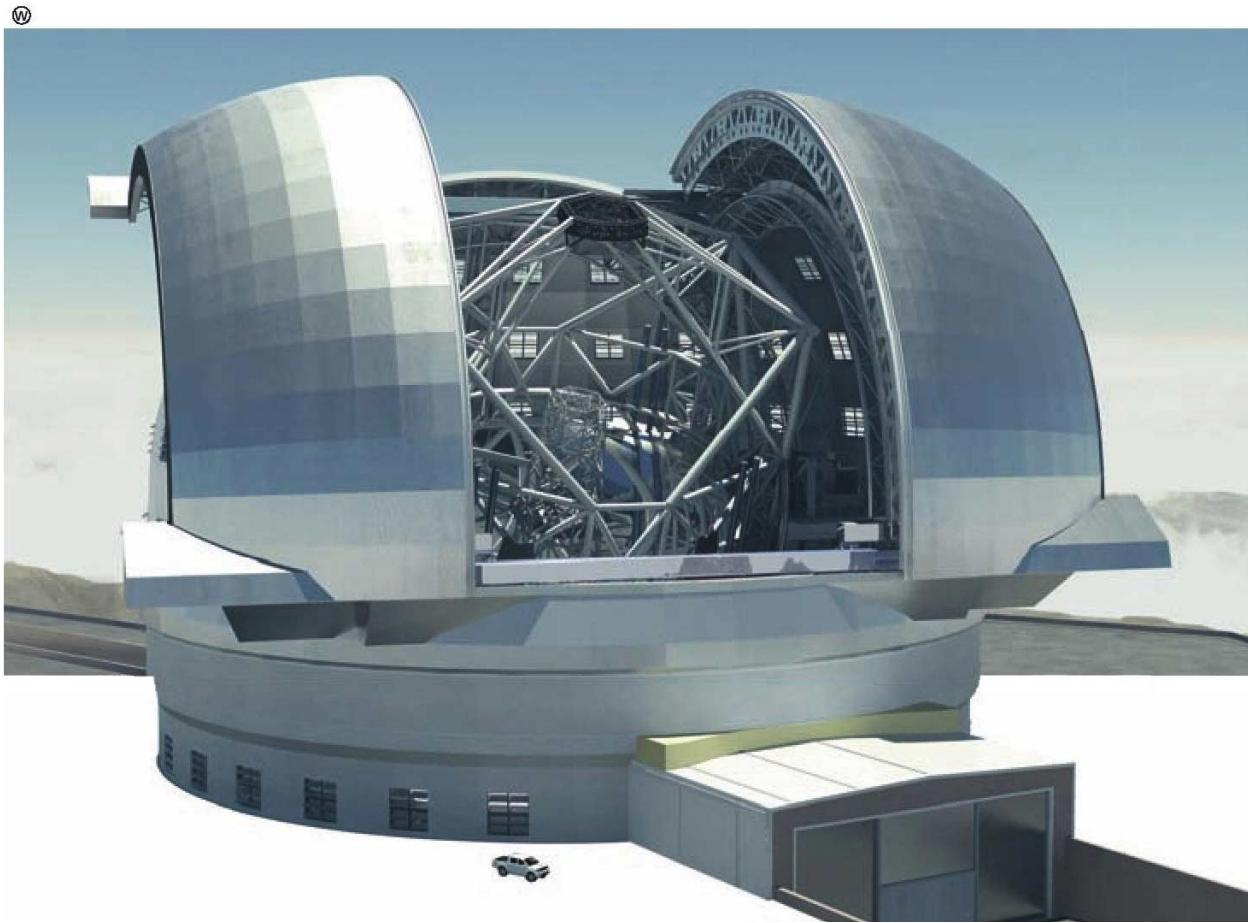
为了消除这些影响，人们想了各种办法，比如采用低膨胀率的镜面材料，采用浮动的镜面支撑系统，使用尖端的加工工艺，这些都可以在一定程度上抵消环境变化等造成的影响，但仅仅是“被动地”去“预防”，而不是“主动地”去“改善”。后来，天文学家提出了主动光学的概念。相对于传统的“被动光学”，主动光学的思路是在望远镜工作时，通过机械和光学手段，主动去克服望远镜镜面的变形，从而改善望远镜的成像质量。目前的主动光学技术主要有两种：一种叫拼接镜面主动光学，由于拼接镜面的每一块小镜子都是独立的，可以通过实时改变它们的位置和倾斜角度来修正

成像；另一种叫薄镜面主动光学，当镜面很薄时，可以通过施加压力来实时改变镜面的曲率，继而达到改良成像的目的。

大型天文望远镜除了口径巨大，后端光谱仪之类的仪器设备个头也不小。这些大型仪器挂在望远镜上给望远镜造成了沉重的负担，同时随望远镜一起转动带来的重力变形也影响了测量的精度。如何解决这个问题呢？以往人们用一套“折轴光路”来将光线引到固定的大型仪器上，但附加的光学系统必然会降低望远镜的观测效率。于是，人们把目光投向了光纤——光纤可以将光线引到望远镜附近的任意位置，而能量损失很小。大型仪器和望远镜之间连接的问题就解决了。此外，光纤还可以用在多目标观测上。假如望远镜视场中有100颗星，便可以用100条光纤将星光分别引到大型设备上进行分析，大大提高了观测的效率。（姜晓军）

下一代天文望远镜会是什么样的

如今世界上的顶级望远镜都各怀绝技，有的采用拼接镜面技术，口径巨大，如位于加那利群岛拉帕尔马的10.4米口径的加那利大型望远镜（GTC），以及位于夏威夷的两台10米口径的凯克望远镜。也有的虽然口径并不很大，但几个望远镜协同工作，相当于一个巨大望远镜的效果，比如欧洲南方天文台的4台8.2米口径的望远镜和4台1.8米口径的望远镜，合成等效聚光能力相当于1台16米口径的望远镜，而分辨本领更比单台望远镜提高了25倍。



欧洲极大望远镜效果图

下一代望远镜会变成什么样？作为拼接镜面技术的继承者，计划于2020年建成的“三十米望远镜”（TMT）口径将达到30米，由492块小镜面组成。而欧洲极大望远镜（E-ELT）计划由798块小镜面组成，口径可达39.3米，相当于半个足球场的面积。如此大的集光能力相当于今天最大的光学望远镜的15倍。多个望远镜协同合作的模式也在发展着，如巨型麦哲伦望远镜（GMT）的主镜计划由7个8.4米直径的镜面组成，集光能力等效口径可达21米，分辨本领等效口径可达24米。

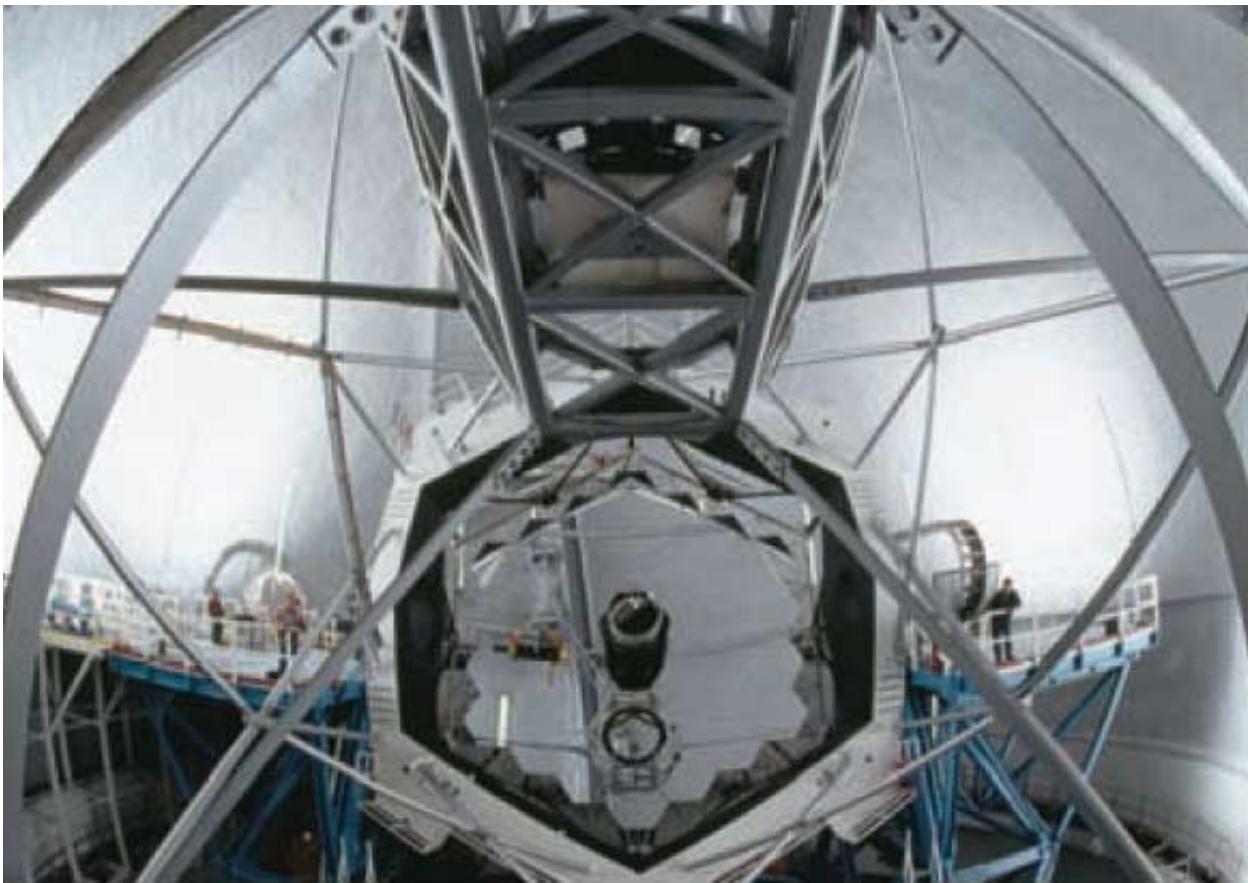
中国的郭守敬望远镜（LAMOST）竣工后，大口径兼顾大视场的望远镜越来越受到青睐。现在正在建设的LSST望远镜将是其中的佼佼者。这架望远镜拥有口径8.4米主镜的同时，还将拥有 3.5° 的视场。它采用了独特的设计，拥有一个主镜和两个副镜，比别的望远镜多了一个副镜，虽然多出

的副镜减小了望远镜的有效口径，但大大拓宽了望远镜的视场。LSST望远镜将做巡天测光工作，将在群星中有更多的新发现。（姜晓军）

为什么要用许多小镜子拼成一个大镜面

美国夏威夷岛莫纳克亚山上，林林总总排布着许多望远镜。这些望远镜中，称王的是两台名叫“凯克”的望远镜。如果你有机会去看它俩的主镜，说不定会颠覆你对望远镜的印象——它们的主镜不是一个完整的反射镜，而是由36个六角形小镜子拼接起来，看着如同一个马蜂窝。这些小镜片组合起来，威力一点都不比大镜面差。

这种技术称为“拼接镜面”，为何要采用拼接镜面技术呢？因为望远镜的口径越大，便可以接收到越多来自遥远天体的光，看到越远越暗的天体，还能看到更加清晰的天体细节。但当口径达到8米左右之后，更大的镜片遇到了意想不到的问题，其中最主要的麻烦是现有的基础设施难以满足大口径镜片的要求。如果做一个口径10米的镜片，该如何运输呢？到时候车辆不够大，公路、桥梁、隧道也不够宽。而且更大的镜片制造难度大，成本高。



©

凯克望远镜的拼接镜面

人们想出一个办法：化整为零，采用多个镜面进行拼接，这样降低了制造成本，也避免了基础设施的限制。不过拼接而成的镜面面临着一系列问题。这些小镜面必须精确地将收集来的光线汇集在一起——即“共焦”，共焦后才能发挥所有小镜片收集光线的本领。但是想要这些小镜子齐心协力，达到一枚大镜子的清晰程度，除了共焦，各个小镜子反射光的相位误差还要非常小才行，这称为共相位技术。这项非常困难的技术，凯克望远镜做到了，这才拍出了细节清晰的天体照片。（姜晓军）



加那利大型望远镜 (GTC)

【微博士】世界上最大的光学望远镜

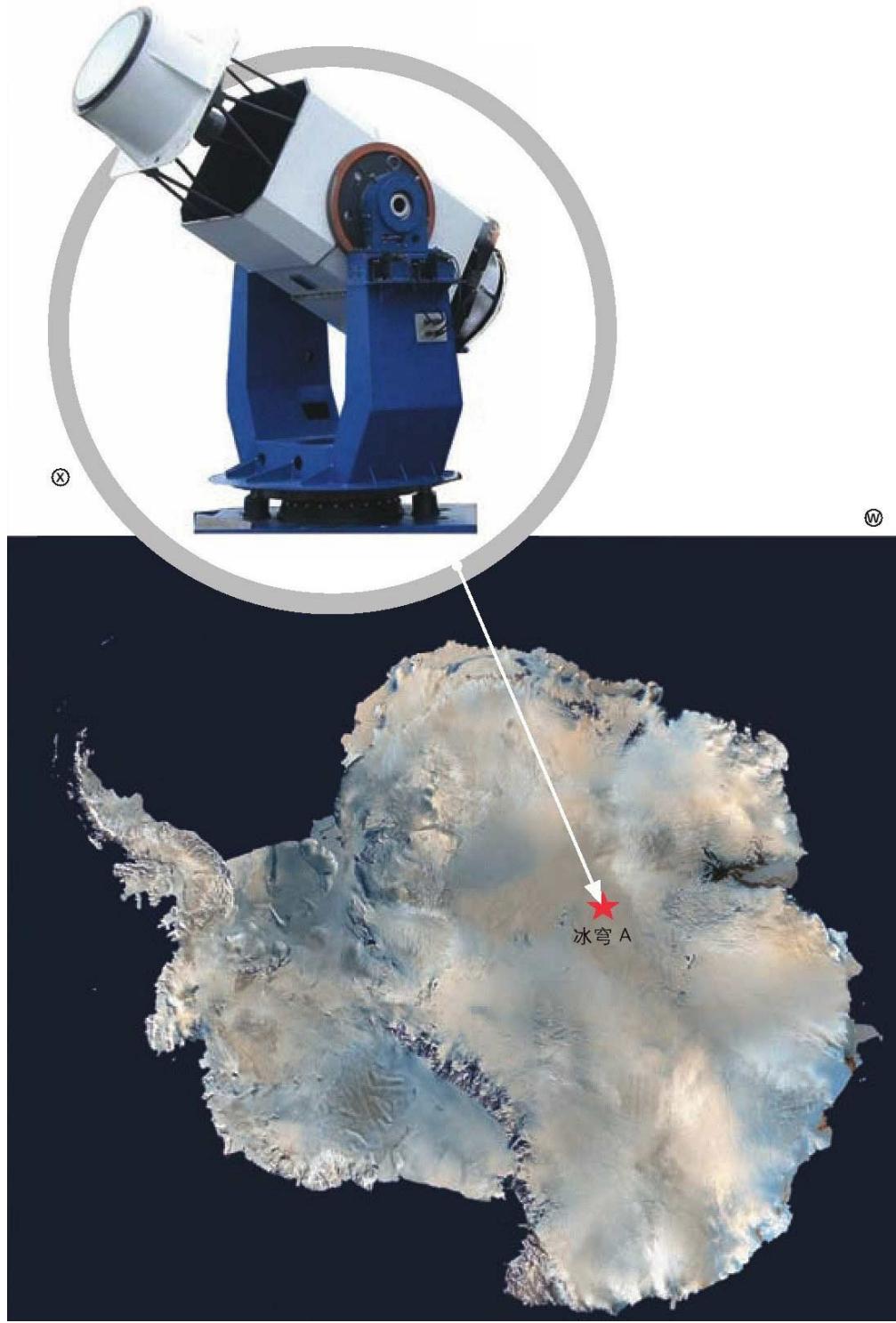
目前已经建成的最大的单镜面望远镜的口径都超过了8米，比如欧洲南方天文台的甚大望远镜（VLT），包括4台8.2米口径的望远镜，同时又可以和位于同一台址的4台1.8米口径的辅助望远镜构成威力更加巨大的望远镜阵。日本在夏威夷莫纳克亚山上建造的昴星团望远镜口径也达到了8.2米。美国、意大利、德国联合建造的大双筒望远镜（LBT）由两个口径分别为8.4米的镜筒组成，合成的聚光本领相当于一台口径11.9米的望远镜。更大口径的望远镜均采用多个六角形蜂窝状的镜面拼接成一个大镜面的方式。位于加那利群岛的加那利大型望远镜（GTC），口径为10.4米，由36块小镜面拼接而成，为目前世界上最大口径的光学望远镜。而预计2018年建成的欧洲极大望远镜（E-ELT）的口径将超过39米，将是世界上最大的望远镜。

【微问题】几个望远镜如何协同工作？

【关键词】主动光学 拼接镜面 光纤 下一代望远镜

天文台建在哪里比较好

看天文台的照片我们可以发现，许多天文台建在高山之巅，这难道是为了离星星更近吗？当然不是。这主要有几方面考虑。其一是为了躲避低空云和雾霾，一般来说雾气的高度为几百米，低云分布在海拔2000米以下，中云分布在4000米左右，如果一个山峰在海拔4000米以上，就可以躲过很多云对星的遮挡。其二，在高山上，大气也相对宁静一些，可以拍摄到更清晰的天体图像。其三，低海拔地区水汽密度大，对红外线和一些射电波吸收严重，但在高山上，水汽密度小，就可以进行更多波段的观测。满足这个条件的还有干燥的沙漠，那里也是一些望远镜的家园。



设在南极冰穹A的南极巡天望远镜

地球上有没有比高山和沙漠更好的天文台址呢？南极大陆就是这样的地方。冰雪覆盖的南极大陆是一个高原，在南极点附近的冰穹A海拔超过

4000米，还是一个极为干燥的地方，空气的含水量比沙漠还少，是地球上观测条件最好的地方之一。另外，南极有极昼和极夜现象，天文学家拥有几个月的黑夜可以连续观测群星。中国正在南极冰穹A建造南极巡天望远镜，来研究黑洞、暗物质、暗能量、宇宙起源等天文学前沿课题。（张超）

为什么要把望远镜送上天

人们用肉眼看到的来自天体的光线，仅仅是它们发出的电磁波的一小部分。来自遥远天体的X射线、伽马射线和一部分紫外线、红外线及射电波在到达地面之前就被大气吸收掉了。天文学家若想要观测到天体发射的这些波段的电磁波，只有将望远镜送上天。

怎么才能把望远镜送上天，送到天上多高才算合适呢？这要看我们用什么波段来进行观测。如果是观测红外线，那么用飞机、气球搭载望远镜就可以。因为吸收红外线的水汽主要聚集在底层大气中。若想观测高能的诸如X射线、伽马射线，那么就需要用火箭搭载探测器冲出大气层。当然，如果使用卫星作为平台，那就再好不过了。



(N)

太空中的哈勃空间望远镜



(N)

哈勃空间望远镜的继任者：詹姆斯·韦伯空间望远镜

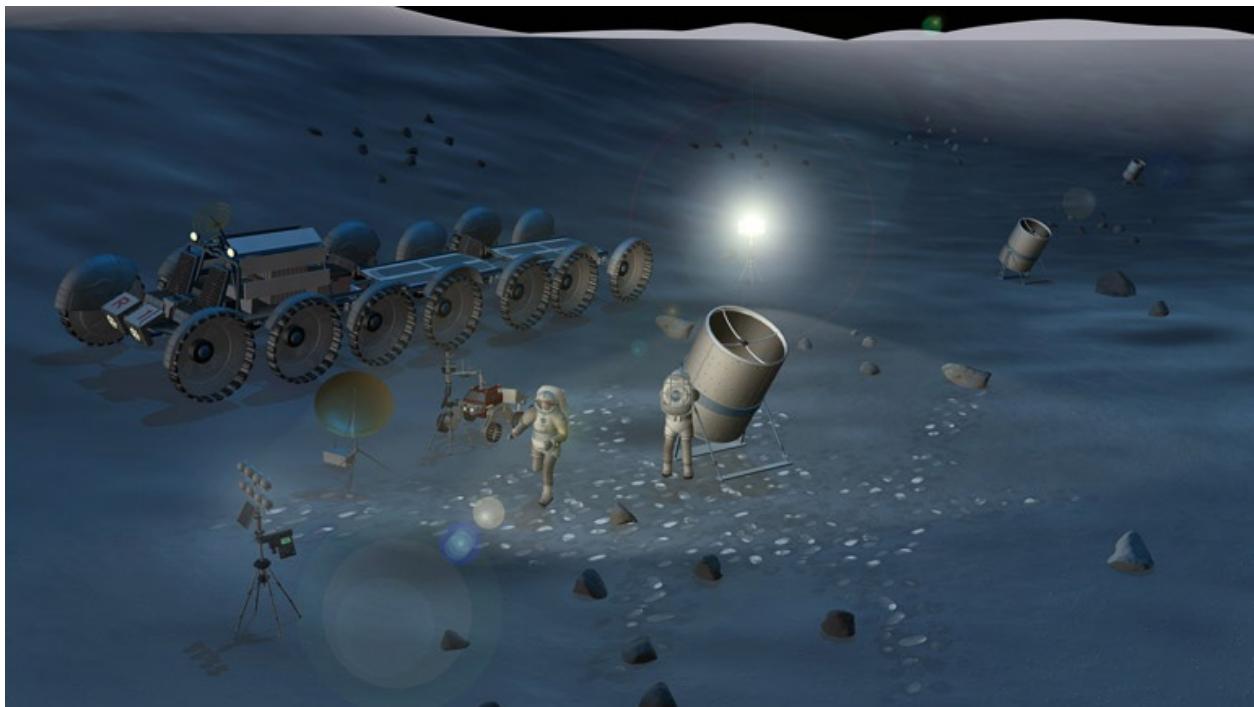
大气除了会吸收天体的光线之外，其湍流也是个大麻烦。湍流的大气如同沸腾的开水，让天体的细节模糊不清。为了得到更高的分辨率，除了采用自适应光学技术，还可以将光学望远镜送入太空。著名的哈勃空间望远镜主要就工作在光学波段，它为我们拍摄了非常多的超级精细、美妙绝伦的天体照片。目前，哈勃空间望远镜的后继者——詹姆斯·韦伯空间望远镜正在建造中，人们相信更大口径的空间光学望远镜必将会带来更多的惊喜。（张超）

为什么要让月球成为望远镜的新家

空间望远镜有着地基望远镜难以比拟的优势：没有大气对各种电磁波

的吸收和散射，没有大气的扰动捣乱。但是建造一台大型的空间望远镜，并不是一件容易事。在空间轨道上架设望远镜，由于处于失重环境，想要控制它非常困难。另外一个麻烦来自地球，目前大多数空间望远镜的轨道都不很高，地球的遮挡和干扰对望远镜的观测质量和效率都有不小的影响。

如果有一块没有大气的陆地用来建设大型望远镜，那就完美了。这块陆地就是我们的月球。月球上没有空气，也就没有风，天文观测不会受到干扰。在月球上建造的望远镜，叫“月基望远镜”。月球的重力只是地球的 $1/6$ ，工程建造会比地球上容易很多。月球的地质活动微弱，和地震相比，月震的强度只有其亿分之一，而且在月球上还丝毫不受人类活动的干扰。

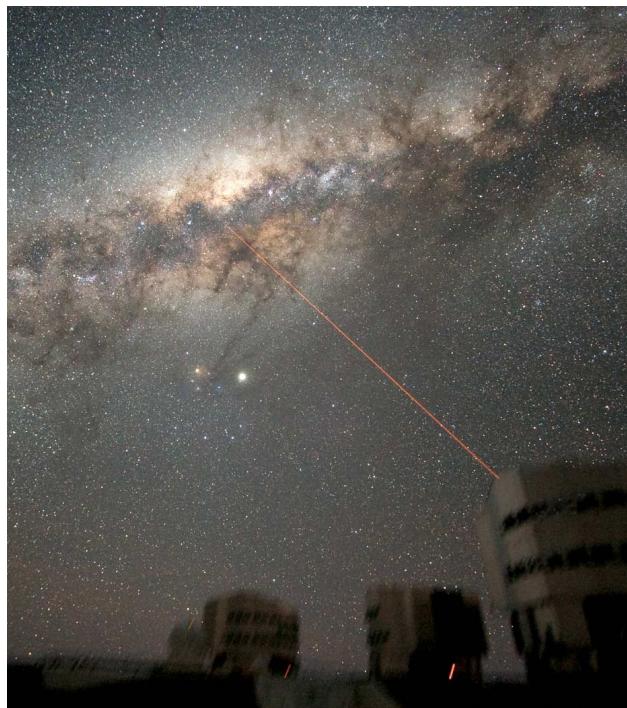


未来到月球上安装望远镜（想象图）

最重要的一点，月球拥有漫长的黑夜！月球的自转周期和公转周期相同，长达一个月，也就是说会有半个月时间处于黑夜。另外，由于月球上没有大气，即使在白天，天空也是黑的。这样我们就可以进行超长时间的曝光照相，可以观测到更远更暗弱的天体。（张超）

【微博士】自适应光学

地球的大气好像沸腾的开水，产生的湍流会造成星像模糊。于是在望远镜中就会看到本应该针尖般锐利的星点发生了抖动、变形。地面上的大望远镜如何消除这种影响呢？天文学家发明了“自适应光学”技术，先去探测大气对星光造成了怎样的影响，然后再实时地进行修正。目前，大型望远镜的自适应光学系统利用激光来制作一颗“假星”，一个探测器用来探测假星经过大气后发生的变化，然后将这个信息迅速传到望远镜后端，用一个有着成百上千个变形单元的变形镜去改正大气抖动的影响。如此得到的图像可以比未经修正的清晰上百倍！



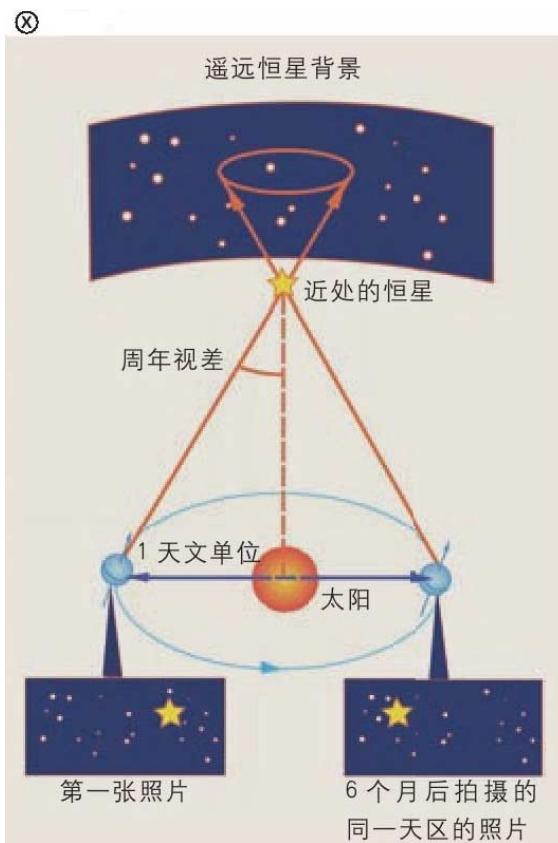
欧洲南方天文台的甚大望远镜（VLT）正在使用
激光制造“假星”

【微问题】为什么空间望远镜的尺寸可以比地面望远镜小很多？

【关键词】冰穹A 哈勃空间望远镜 月基望远镜

天文学家怎样测量天体的距离

天文学家测量不同天体的距离，用的是不同的方法。



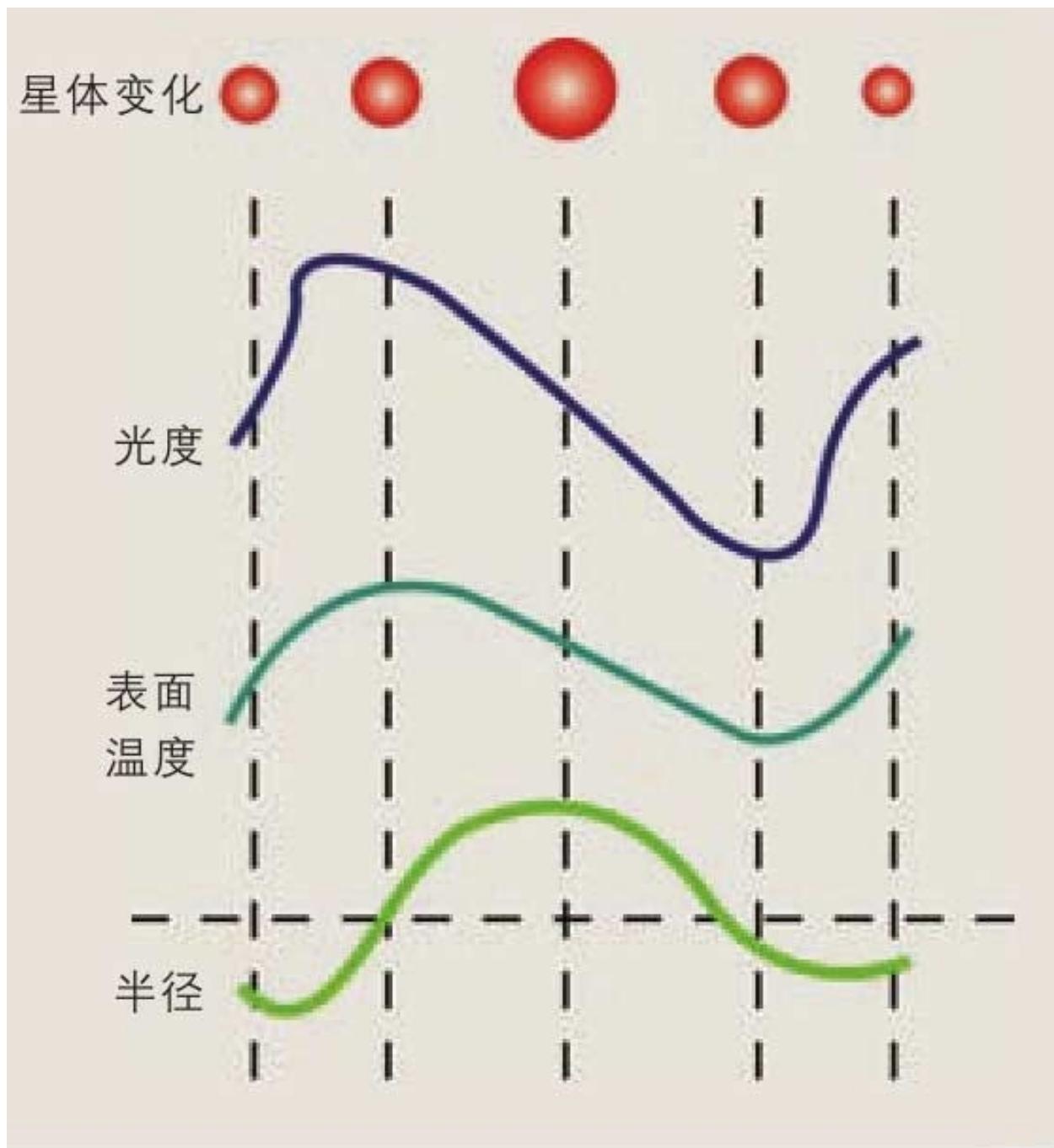
三角视差法原理图。地球公转轨道半长径对天体的最大张角就是该天体的周年视差

对于最近的恒星，天文学家使用的是最简单的三角视差法。这是人眼判断物体远近的方法。如果我们伸出一根手指，轮流闭上左右眼去看，就会发现手指相对于远处的背景有位置（方向）上的变化。如果知道这种变化的大小以及两眼间的距离，就能够通过简单的几何关系，计算出手指到眼睛的距离。天文学家也正是利用这种方法测量离我们较近恒星的距离。他们以地球环绕太阳公转轨道的长轴为基线，只要相隔半年时间，在地球公转轨道长轴的两端观测同一颗恒星，就能得到该恒星对地球轨道直径的张角。天文学家将此角度之半称为恒星的周年视差。已知地球轨道半长径约为1.5亿千米，于是由周年视差就可以推算出恒星的距离，这称为几何距离。

三角视差法只能测量太阳附近恒星的距离。最近一颗恒星比邻星距离我们4.22光年，相应的周年视差小于 $1''$ 。距离越远的恒星周年视差越小，测定起来也越困难。目前，用三角视差法测定恒星距离的最远范围大致为500光年。银河系的尺度约为8.2万光年，其中绝大部分恒星的距离远远超出三角视差法的适用范围；至于银河系以外的天体，三角视差法更是鞭长莫及，必须另辟蹊径。

天文学家想出了另一种测量方法，称为“光度测距法”。这种方法的原理很简单：如果观察同一型号的灯泡，会发现近处的灯泡亮，远处的灯泡暗。如果能测量出灯泡有多亮，就能知道它距离我们有多远。因为灯光的亮度可以用“烛光”来表示，所以这种测距离的方法也称为“标准烛光”测距法。这种方法的关键在于，天上哪些天体是“同一型号”的，或者说它们自身的实际亮度是相等的？

在对恒星的长期监测中，科学家发现了一些亮度变化很有规律的星，称为“造父变星”。1912年，美国女天文学家勒维特发现造父变星的光变周期和实际亮度之间存在这样的关系：光变周期越长，释放的能量就越大；光变周期越短，释放的能量就越小。这意味着可以用光变周期来确定它们的实际亮度。这样，只要通过造父变星的光变周期推算出它实际亮度，就能够根据它的视亮度求得其距离。因此，科学家把造父变星称为“量天尺”。美国天文学家哈勃正是通过造父变星第一次确认仙女座大星云并不是银河系内的天体，而是和银河系一样由上千亿颗恒星组成巨大星系。造父变星“量天”的适用范围可达5000 多万光年，远远超出三角视差的能力范围。除了造父变星外，新星、超新星、天琴RR 型变星等的光变性质与实际亮度也具有一定的关系，只是不如造父变星这么精确。所以测量近邻星系的距离，主要还是靠寻找其中的造父变星。



造父变星光度、温度、半径变化示意图



在更遥远的星系中，众多恒星都已经无法分辨，只有爆发的超新星能够在毁灭的瞬间释放出让整个星系都黯然失色的光芒，可以被我们看到。超新星是恒星演化晚期的产物，爆发时亮度会在短时间内增强千万倍甚至上亿倍，最大光度可达太阳光度的 $10^7 \sim 10^{10}$ 倍，释放出 $10^{40} \sim 10^{45}$ 焦的能量。

量。超新星中最有利于测距的是Ia型超新星。这类超新星爆发时极为明亮，最大光度又非常恒定，是一种很好的标准烛光，所测定的光度距离最远可超过100亿光年。

凭借壮丽的死亡，超新星成为新的量天尺，为人们研究宇宙的历史提供了宝贵的线索。美国天文学家珀尔马特和里斯以及澳大利亚天文学家施密特正是凭借对超新星的观测，发现宇宙正在加速膨胀，从而获得了2011年度的诺贝尔物理学奖。

但故事并未就此终结。科学家发现了哈勃定律，可以用星系的红移（退行速度）来推算距离。而在更早期、更遥远的宇宙空间中，连星系都无从寻觅。科学家仍在试图寻找新的办法，以揭开早期宇宙的秘密。（余恒）



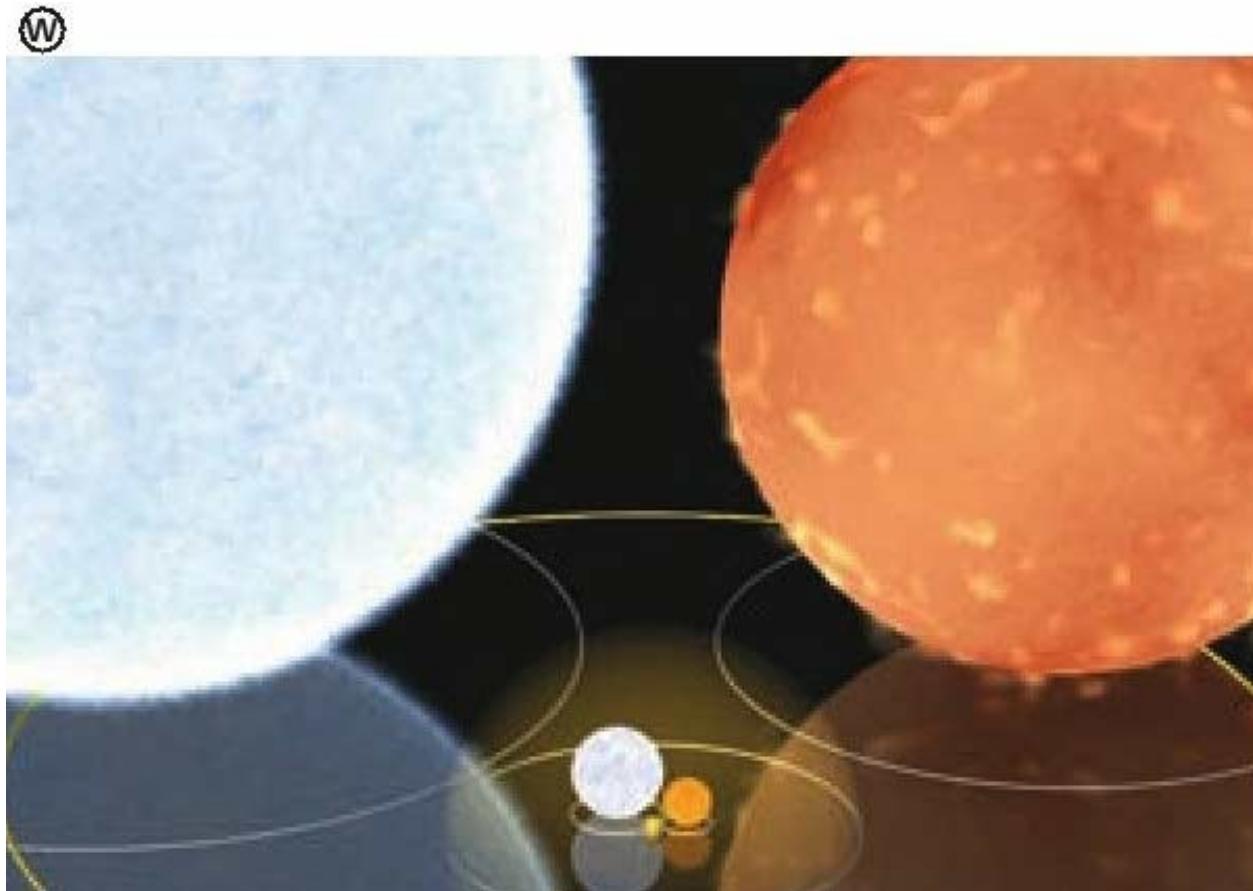
哈勃空间望远镜拍摄的超新星SN1994D（左下方）

为什么天上的星星有的亮有的暗

满天星斗，明暗悬殊。有的星光灿烂，有的却依稀难辨。恒星的亮和暗，与什么有关呢？

肉眼看到的恒星明暗程度称为亮度，亮度的大小与恒星辐射的能量及恒星的距离相关。恒星单位时间辐射的总能量就是恒星的发光强度，简称光度，它与恒星的表面积成正比，也与恒星表面温度的4次方成正比。不同

恒星的光度相差极大。已知光度最大的恒星，可达太阳光度的100万倍；而光度最小的恒星，只及太阳光度的百万分之一。在天文学中，光度小的恒星称为矮星，光度大的恒星称为巨星，光度特别大的恒星，则称为超巨星。



几颗恒星的相对大小：（左起）参宿七、参宿五、太阳、大陵五、毕宿五

恒星的亮度不仅与恒星辐射的能量相关，也与恒星同观测者距离的平方成反比，因此恒星的距离对亮度的影响更大。比如天鹅座 α （中国古代称为天津四）远在1740光年以外，是一颗蓝超巨星，光度为太阳的85000倍；而距离太阳最近（4.22光年）的比邻星是一颗红矮星，光度不到太阳的二万分之一。两者相比，光度相差约20亿倍！但是，它们到太阳的距离相差近400倍，因而从地球上看来，它们的亮度只相差1万倍左右。

为了比较恒星的真实发光能力，天文学家用绝对星等来表示恒星的光

度。也就是说，把不同的恒星放在同一个距离处进行比较。这就像赛跑那样，要站在同一条起跑线上。恒星的这条“起跑线”就定义在离观测者10秒差距（32.6光年）远的地方。在这个距离上所观测到亮度用绝对星等来表示。而我们在地球上实际看到的恒星的星等，则称为视星等。套用一句俗语“人不可貌相”，对于恒星世界来说就是“星不可貌相”了。一颗恒星看上去亮（星等数值小），发出的光不一定强，只有绝对星等数值小，它发出的光才真的强。（陈力）

【微博士】空间天体测量计划

1989年8月8日，欧洲空间局发射了首颗天体测量专用的“依巴谷”卫星，在3年内共测量了近12万颗恒星的视差和自行，以及100万颗恒星的位置坐标。而下一代的“盖亚”卫星计划测量10亿个天体的视差。这意味着银河系中几乎所有可见恒星的距离都将被确定下来。

【微博士】秒差距

秒差距是天文学中常用的距离单位：如果一个天体的周年视差为 $1''$ ，那么它的距离就是1秒差距，相当于约3.26光年。

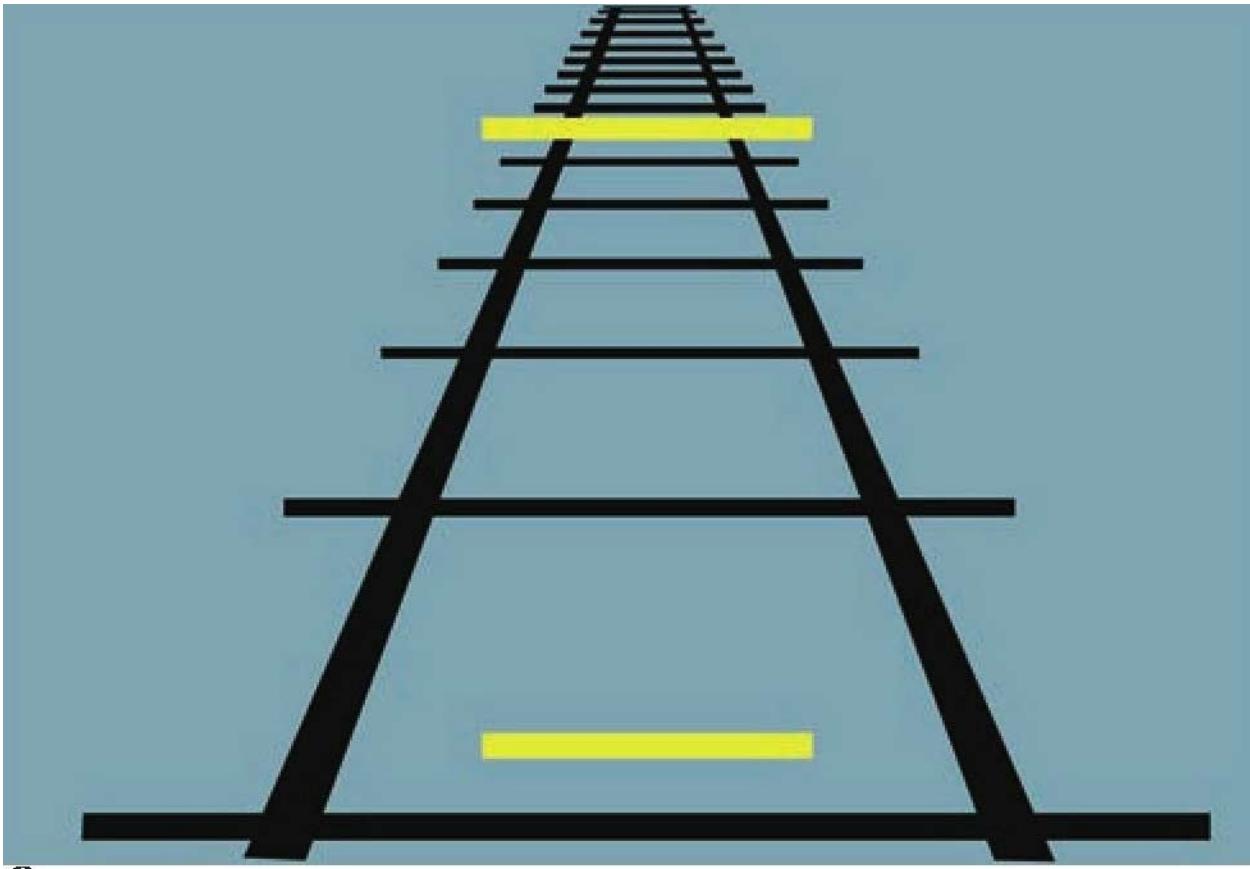
【微问题】目前所能观测到的最远星系有多远？

【关键词】三角视差法 光度测距法 视星等 绝对星等

为什么地平线上的月亮看起来特别大

月亮、太阳以及星座等“天空中的景物”在地平线附近时总使人感觉到比它们升得高高时要大。其实并非如此。如果拍下它们的照片，或用天文望远镜进行测量，可以证明无论它们升得多高还是在地平线附近，大小其实并没有多大变化。严格地讲，由于在地平线附近，受大气折射的影响，月亮或者太阳都要略微扁一点，总面积反而要比升上高天以后略微小一点。所以，“地平线上的月亮更大”，应该是一种错觉。

为什么会有这样的错觉呢？一种可能是，人的大脑总会把地平线附近的物体估计得比头顶上的远一些。因为地平线附近往往会有许多人类熟悉的物体，例如山脉、房屋、大树等，而在天顶的月亮则没有这些物体作参考。在这些遥远物体的映衬下，人们就会觉得地平线上的月亮比天顶的月亮更远一些，相应地也就觉得它更大一些。这种现象被称为“庞佐错觉”，即人的大脑在估计物体的大小时，会受到物体周围背景信息的左右。这是由意大利心理学家马里奥·庞佐最先发现的。如果把一张纸卷成一根管子，来一次管中窥月，就会发现地平线上的月亮马上变正常了。



⑧

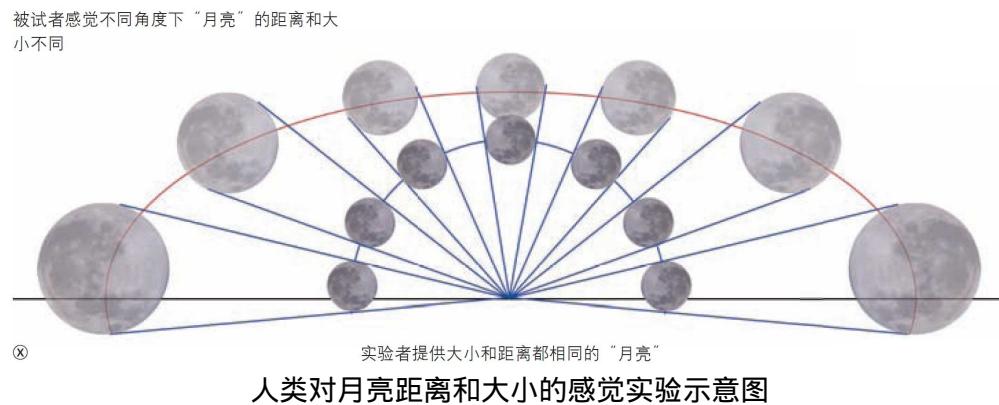
“庞佐错觉”示意图。图中两条黄色线段的长短一样吗

但有的科学家不满意这个解释，因为当飞机上的飞行员在空无一物的地平线上观察月亮时，仍然会有这样的错觉。这其中一定还有别的原因。纽约长岛大学心理系的两名研究者通过实验研究了人们对月亮距离的主观感受，发现水平线上的“月亮”距离感觉要比天空中的远4.2倍。而人们感受大小时，不单单靠比较物体在视场中占的角度，还要比较物体的距离。在角度相等的情况下，如果你已经知道其中一个物体比另一个物体距离更远，你的大脑就会把它的尺寸估计得更大一些。因此就会把地平线上感觉起来“更远”的月亮估计得更大了。

还有的科学家发现，人们在看同一方向不同距离的物体时，视觉的汇聚点会略微变化。当人把目光从较近距离的物体移到远处时，会觉得物体的张角略微变大了一些，称为“视动巨视效应”。而当人们注视天空中孤零零的月亮时，由于缺乏距离感，又会把注意力停留在眼前不远处，产生“视

动微视效应”。这些科学家认为，视动效应才是导致月亮错觉的真正原因。

除了以上提到的解释，还有一些其他的解释。例如，有人认为这是因为人类视觉所感知的空间是弯曲的；有人认为这是因为人的感官更重视近处的视觉信息；有人认为这是由抬头和平视之间的方向感差异所导致的，等等。虽然科学家已经做了不少研究，但目前这个问题还没有公认的答案，亲爱的读者，你能作出自己的解释吗？（李剑龙）



【微博士】初升的月亮为什么像被压扁了

初升的月亮，看起来似乎被纵向压扁了。这其实是地球大气在捣鬼。当月球贴近地平线时，地球的大气层呈现下厚上薄的状态，好似我们平时使用的放大镜，因此我们会发现月亮呈现纵向压扁的椭圆形。而当月亮升高后，各个方向的大气厚度相对一致，因此月球也就会呈现正常的圆形。为了证明这一问题，我们拍摄了两张月球在地平线上和上中天的照片，拼在一起后可以清晰地看到这一现象。



为什么“半个月亮爬上来”决不会是上弦月

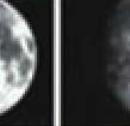
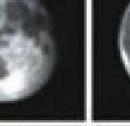
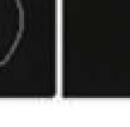
月球自身不发光，只能被太阳光照亮，而且被照亮的只是半个月球球

面。这半个月球球面与向着地球的半个月球球面重合的部分，才能被地球上的人们看见，其形状称为月相。

在一个月中，月相是不断变化的，这跟太阳与月球的相对位置有关。因为月球绕地球公转，所以月球相对于太阳在天空中自西向东运动，每天东行约 12° ，每个朔望月转完一圈。于是，每当农历初一月球运动到“朔”的位置时，地球上的人面对的是没有太阳光照的半个月面，而且日月接近在同一方向上，在强烈的阳光下，不可能看见月亮。半个月后，月球运动到“望”的位置时，日月相距约 180° ，地球上的人面对的是完全被阳光照亮的半个月面，便可在夜晚看见一轮圆圆的月亮。当月球运动到“上弦”或“下弦”位置的时候，地球人面对的月面，一半被阳光照亮，另一半完全黑暗，看到的是“半个月亮”。农历廿二、廿三的下弦月位于太阳以西 90° ，在黎明时最高。它从东方升起的时刻应在日出前6小时的子夜，那时的情景正是民歌“半个月亮爬上来”唱出的意境。而农历初七、初八的上弦月位于太阳以东 90° ，在黄昏时最高，而升起于中午，升起时不可能为人所见，所以说“半个月亮爬上来”决不会是上弦月。不过，中午升起的上弦月将会在半夜落下，所以唐诗“月落乌啼霜满天，江枫渔火对愁眠。姑苏城外寒山寺，夜半钟声到客船”中的月相无疑必是上弦月。同样道理，月初所见的一弯新月总在太阳东面而且相距不远，黄昏时斜挂西隅，不久就会落山；如钩的残月只能出现在农历月末，位于太阳西侧不远处，晨光熹微时现身东方。

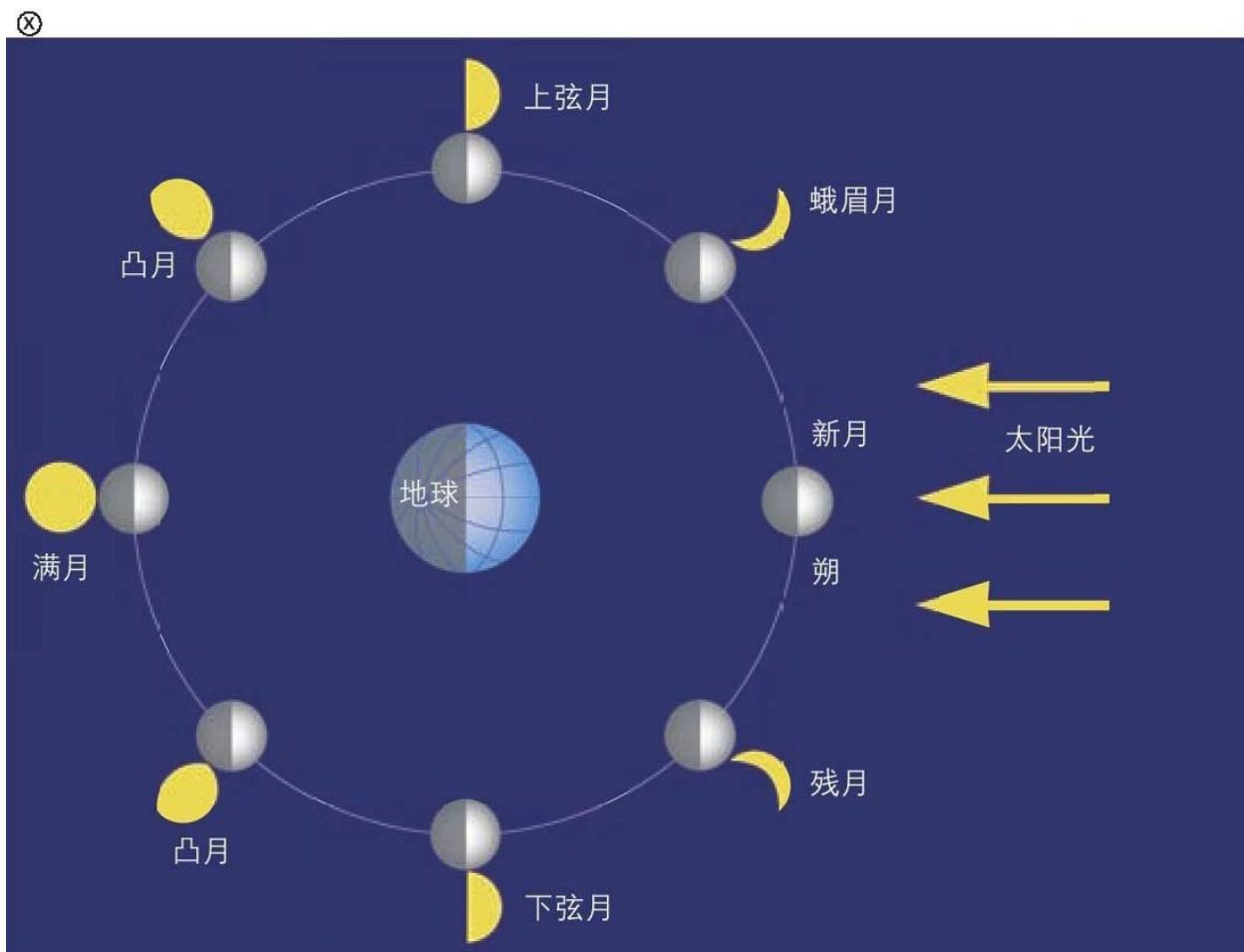
（苏宜）

2005年5月

周日	周一	周二	周三	周四	周五	周六
 8 新月	 9	 10	 11	 蛾眉月 12	 13	 14
 上弦月 15	 16	 17	 18	 凸月 19	 20	 21
 22	 23	 满月 24	 25	 26	 27	 28
 29	 下弦月 30	 31	 1	 残月 2	 3	 4
 5	 6 新月	 7	 8	 9	 10	 11

一个月中的月相变化

㊂



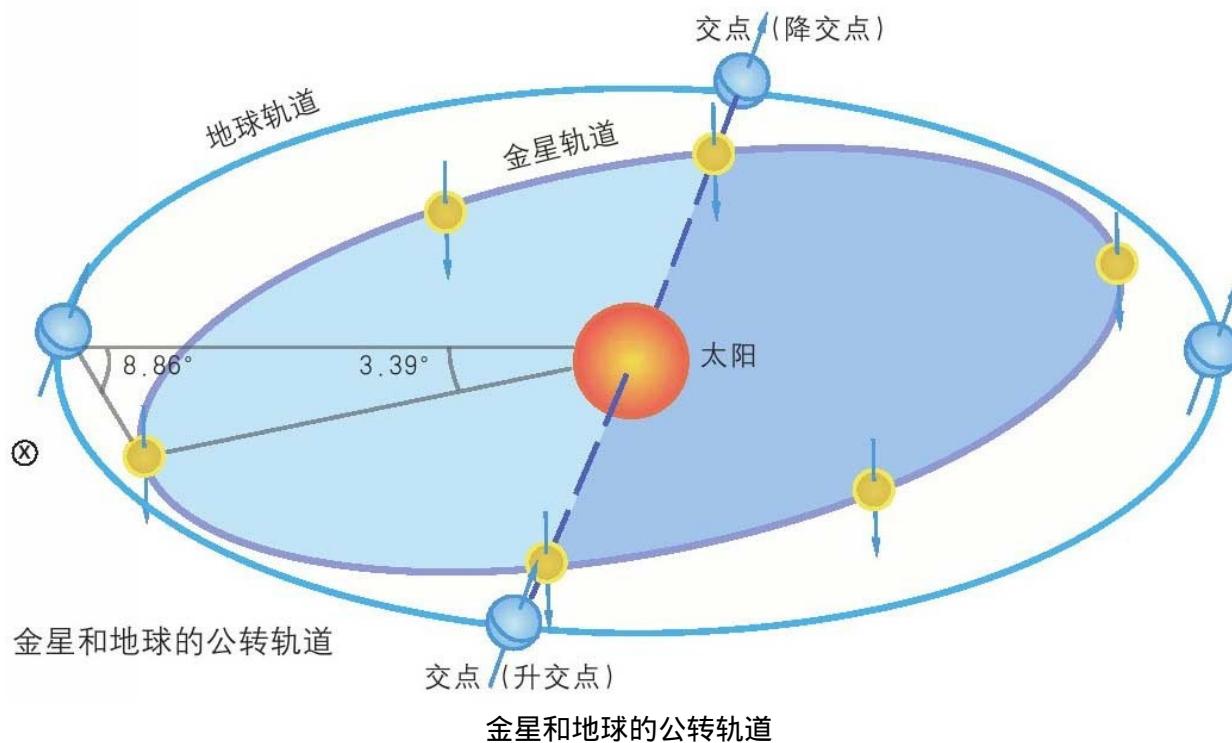
月亮变化原理图

【微问题】“弦月”为何而得名？

【关键词】庞佐错觉 上弦月 下弦月

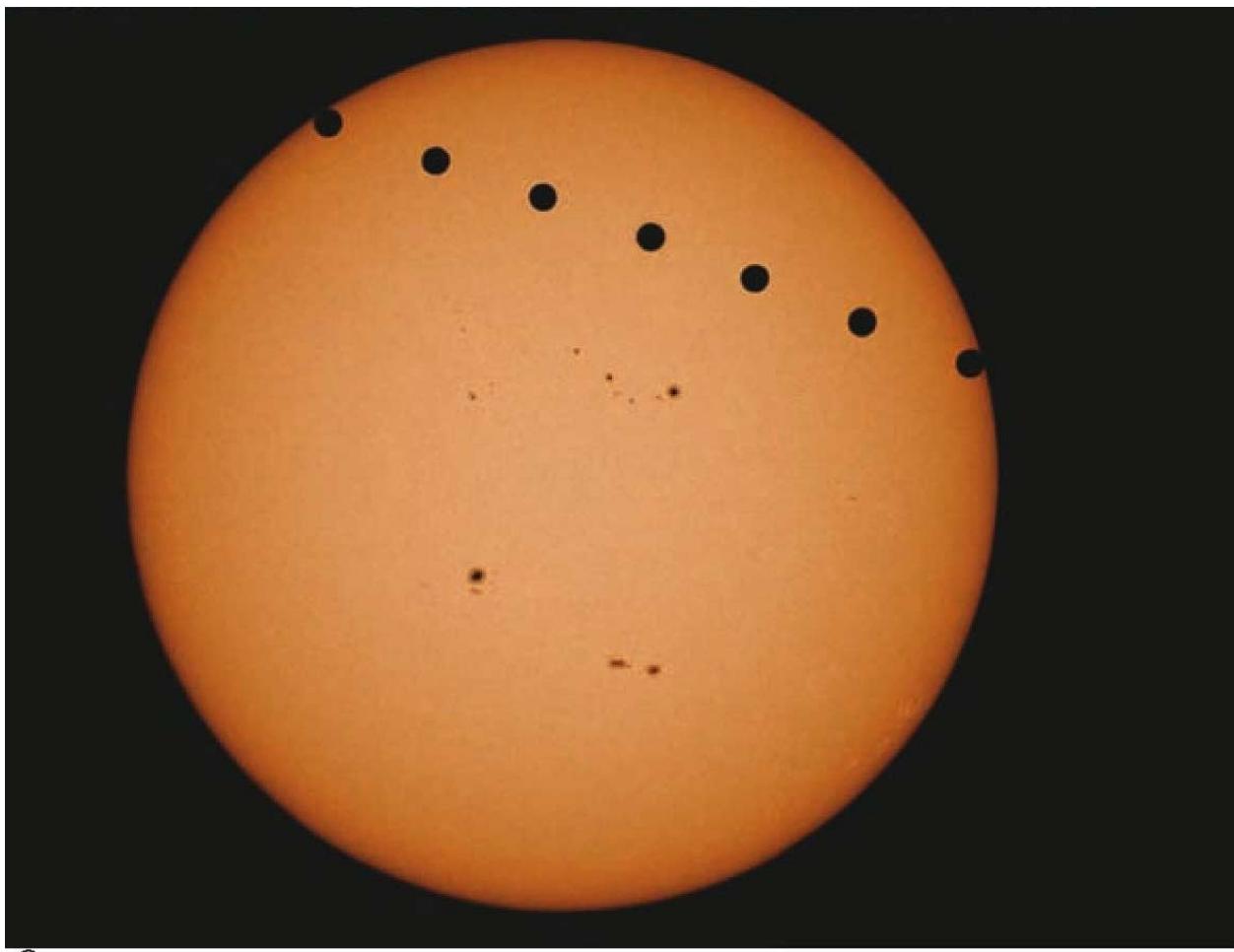
为什么金星凌日有时过8年发生一次，有时却要相隔100多年

金星凌日是金星视圆面呈小黑点状投影在太阳表面上的天象，是金星运行到日、地之间且三者在一条直线上时发生的。金星凌日，一是珍稀，二是好看，所以是值得观赏的难得天象。金星凌日的发生，相隔8年为一组，而且不是同在6月8日前后，就是同在12月10日前后。8年一组过后，就要相隔105.5年及121.5年交错发生。



金星凌日出现的规律，是地球与金星绕太阳公转造成。金星和地球的公转周期分别是224.6960日和365.2564日。金星转得比地球快。金星转到地球与太阳之间的位置称为“下合”。如果金星与地球的轨道在同一个平面上，那么每次下合都会“凌日”；实际上金星和地球两个轨道面之间有 3.39° 的夹角，所以从地球上看来，金星下合时与太阳的角距离最大会达到 8.86° 。只有在两轨道面的交线附近发生金星下合，才有可能与太阳连成一条直线。

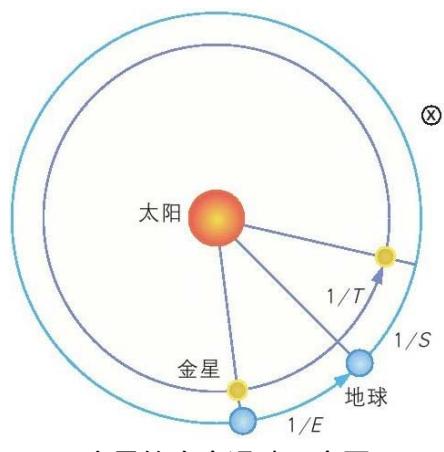
而发生凌日。



©

多次曝光的金星凌日照片

两轨道面交线与两轨道各有升、降两个交点，地球每年通过这两个交点的日期是基本固定的，分别是12月10日和6月8日前后。金星两次下合的间隔日期叫“会合周期”。设 T 和 E 分别为金星和地球的公转周期， S 为会合周期，都以日为单位。从下合开始，一日之内金星转了 $1/T$ 圈，地球转了 $1/E$ 圈，金星超前地球 $(1/T-1/E)$ 圈。当金星的超前量累积到整整一圈的时候，金星又来到与地球会合的位置，所需时间 S 等于



金星的会合运动示意图

$1/(1/T-1/E)$ 日。这就是金星和地球的会合运动方程。这个方程同样也可用来计算金星和水星的凌日。

不难计算，金星的会合周期 S 等于583.920日。地球过交点的周期为 E ，等于365.2564日。两者周期不同，而且不能通约，所以完全准确地既到达下合位置，又同时都在交点上，而且要使金星黑点准确地从日面中心通过，几乎是不可能的。幸好太阳有一个较大的圆面，角直径约 0.5° 。当金星下合时，金星与日面中心的角距离小于 $15'$ ，就可以看到凌日了。这个条件依然比较苛刻。有三个时间段符合这个苛刻的条件，那就是8年、105.5年和121.5年：

$$8E-5S=8\times365.2564-5\times583.920=+2.45\text{日}$$

$$105.5E-66S=105.5\times365.2564-66\times583.920=-4.17\text{日}$$

$$121.5E-76S=121.5\times365.2564-76\times583.920=+0.73\text{日}$$

经过这三个时间段以后，地球到达交点与金星下合的日期接近吻合，满足发生凌日的条件。这三个时间段的循环组合就形成了金星凌日看似神秘的奇特规律。

天体的运动纯粹是客观的自然法则，没有非自然的神秘力量。但各种自然法则相互影响，会出现许多复杂的情况。金星和地球的运动除了主要受到太阳引力的作用以外，还受到月球及其他行星的影响，所以轨道交点、近日点、春分点的位置和各种时间周期都不是绝对固定的。金星凌日的出现规律在更长的时间段内也会出现不完全相符的情况。比如，公元1396年和3089年就不出现8年两次一组的现象，而仅出现一次。（苏宜）

1631—2984 年金星凌日的发生日期
 (双日期表示凌日带跨太平洋中的日界线)

发生年月日	间隔 (年)
1631.12.7	8
1639.12.4	121.5
1761.6.6	8
1769.6.3/4	105.5
1874.12.9	8
1882.12.6	121.5
2004.6.8	8
2012.6.5/6	105.5
2117.12.10/11	8
2125.12.8	121.5
2247.6.11	8
2255.6.9	105.5
2360.12.12/13	8
2368.12.10	121.5
2490.6.12	8
2498.6.10	105.5
2603.12.16	8
2611.12.13	121.5
2733.6.15	8
2741.6.13	105.5
2846.12.16	8
2854.12.14	121.5
2976.6.16	8
2984.6.14	

【微博士】金星凌日和“天文单位”的测量

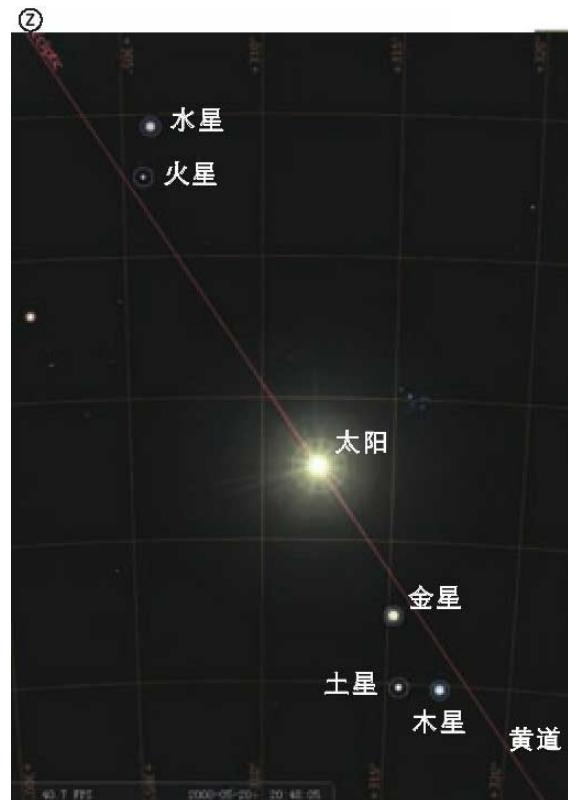
金星凌日的观测在天文学的历史上曾起过很重要的作用。1874年和1882年美国天文学家纽康观测金星凌日，并结合1761年和1769年前人测定的资料，计算出1个“天文单位”（即太阳到地球的平均距离）等于 $(1.4959 \pm 0.0031) \times 10^8$ 千米；这个数值被1896年国际基本恒星会议采用，一直用到1967年。当代激光雷达技术对天文单位的测量精度已高达 ± 30 米，测出“天文单位”的现代值是149597870千米，金星凌日的测量就不那么重要了。但观测金星凌日依然是普及天文学知识的“天赐良机”。天文学家能把这些天象预报得如此准确，充分体现出人类科学知识的准确性和可靠性，其中汇集了多少人的智慧和脚踏实地的辛勤工作。

行星连珠会造成地球上的灾难吗

行星连珠是指多个行星同时出现在天空中一个较小的区域。古人凭肉眼只能看到金木水火土5颗行星，如果它们都同时出现在天空较小的范围（比如清代钦天监规定 45° ）之内，就称为五星连珠，历来被认为是“天现祥瑞”。

其实，由于众行星绕太阳公转的轨道平面比较接近（最大相差 10° 左右），而周期各不相同，速度有快有慢，所以在地球上看起来，各行星相互之间聚散离合是很自然的现象，没有什么特别的含义。祥瑞之说乃封建时代大臣们对皇帝的谄媚之词，实属无稽之谈。

也有人说行星连珠产生的引力叠加在一起会导致地球上的灾变，这也是毫无科学根据的。除日、月之外，其



2005年5月20日的五星连珠示意图

他天体对地球的引潮力作用都非常微小。影响最大的金星，对地球的引潮力最大时只有月球引潮力的二万分之一。月球和太阳的引潮力会引起地球上潮水涨落，其高潮和低潮通常都要达到2~5米，最高的可达10多米。相比之下，即使所有行星都排在一个方向上，它们的引力变化也只能使地球海水涨落0.4毫米，根本不可能造成任何灾难。（苏宜）

【微博士】月亮圆缺变化对人类有影响吗

江河湖海的潮汐会影响到渔业、盐业生产和沿岸居民的生活。潮汐发生的原因在于月亮和太阳对地球的引力作用，不过月亮的影响更大。所以高潮总在月亮位于上中天时，低潮总在月亮位于下中天时。在农历每月的朔（初一）、望（十五），由于太阳和月亮在直线上，引潮力最大，会引起大潮，而在初八、廿三，月相上下弦时，太阳和月亮与地球的连线垂直，引潮力抵消了一部分，引起小潮。所以海边的居民看月相就可知道潮水的大小。除此之外，不同月相时，月亮的光辉不同可能提供不同的照明情况，对人们的生产生活产生有利或不利的影响，或者有可能影响人们的心情，但也仅此而已。至于什么“满月会使人发狂”、“月相影响人类生理周期”之类的说法，是没有科学根据的。

【微问题】金星凌日为何能用来测量地球到太阳的距离？

【关键词】金星凌日 会合周期 行星连珠

太阳、地球和月亮

为什么太阳会发光

对于这个问题，自古以来人们就进行了种种猜测。最直观的解释当然认为太阳就是一个燃烧的大煤球。但是，像太阳那么大的煤球要是一直燃烧，最多只够烧3000多年。实际上，有文字记载的人类历史也超过5000年了，这种矛盾显然是没法解释的。

也有人提出，太阳的能量来自陨星的撞击，把动能转化成热和光。但是，陨星的积累会使得太阳的质量增加，引力逐渐增强，地球的公转就会因此而变快。如果太阳的能量真的来自陨星撞击，将会造成地球上每一年比前一年缩短一两秒钟。可是实际上并没有发生这样的情况。

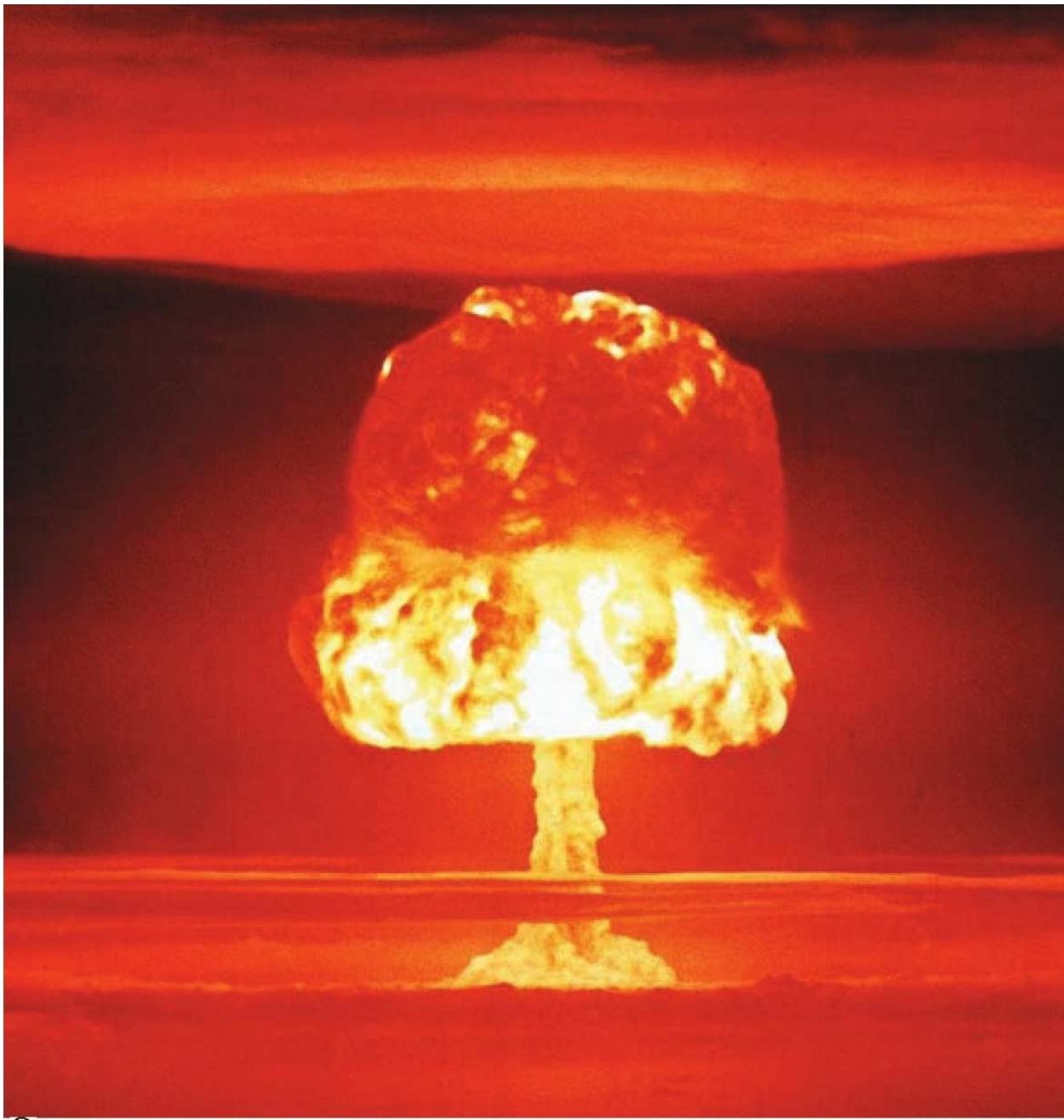
19世纪，科学家开尔文和亥姆霍兹提出，太阳的能量来自其自身物质在引力作用下的收缩，把势能转换为热能。但计算表明，这样收缩产生的能量也只够太阳发光1800万年。

20世纪以来，随着原子物理学的发展，人们最终解决了太阳能源的问题。爱因斯坦发现了物体质量与能量的关系，那就是著名的质能方程 $E=mc^2$ 。根据这个关系，一点点质量就可转化为数值十分巨大的能量。例如，1克物质如果全部转变成能量，就相当于1万吨煤全部燃烧所放出的热量。

太阳的组成成分中71%是氢，26%是氦，还有少量其他元素。在太阳内部极端高温和极端高压（约2500亿标准大气压）的条件下，氢原子会发生热核反应，具体而言包括“质子-质子链反应”（pp链）和“碳氮氧循环”（CNO循环）两种过程，但是最终的净效果都是4个氢原子核聚合成1

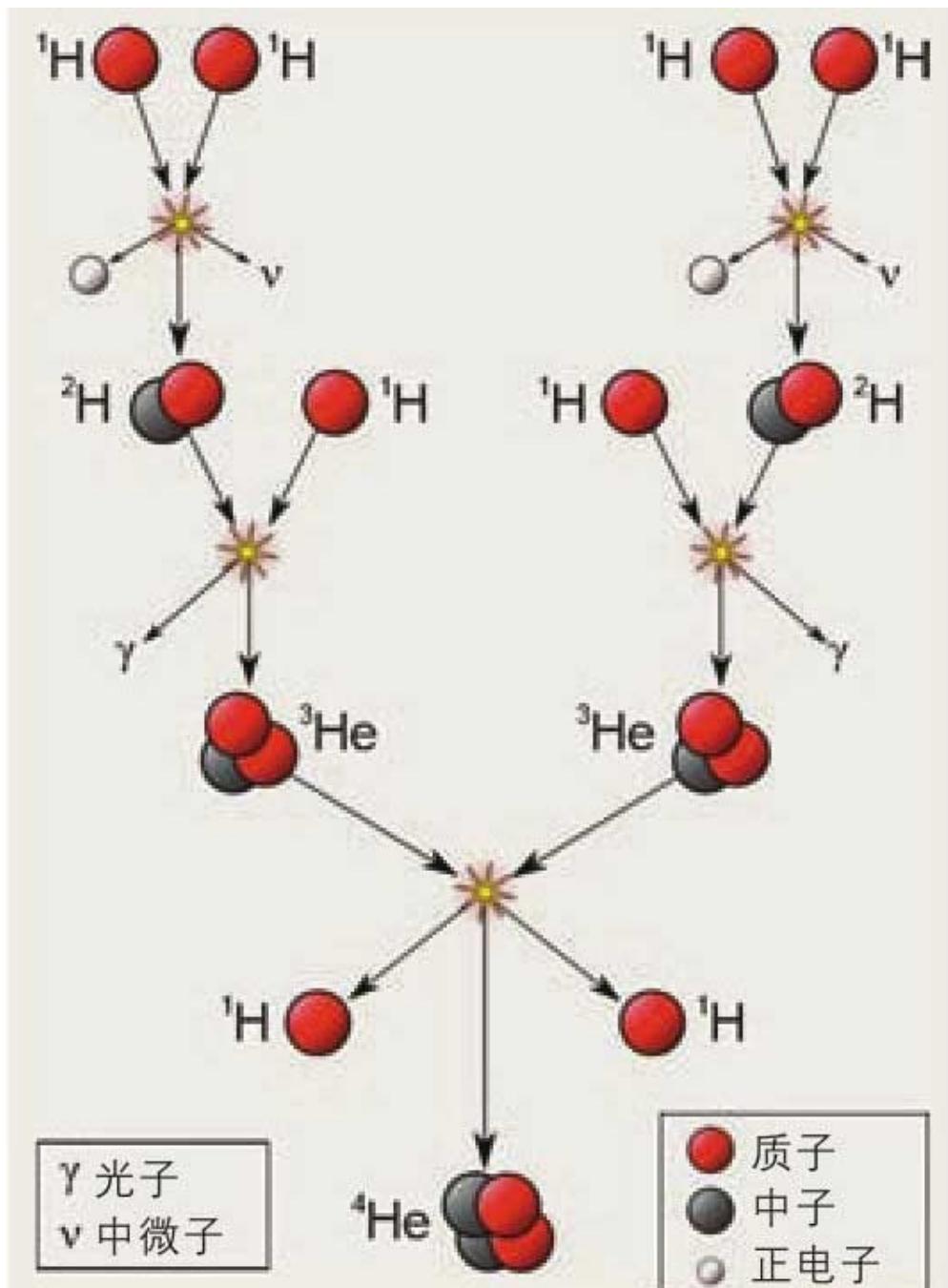
个氦原子核。在这个物质转变的过程中，有一小部分质量会损失，然而正是这一小部分“丢失”的质量转化为巨大的能量了。这个产能原理类似于地面上的氢弹爆炸。太阳每秒要消耗6.3亿吨氢，其中损失的420万吨质量会变成 3.8×10^{26} 焦能量，相当于爆炸100亿颗百万吨TNT当量的氢弹。因此，我们可以形象地说，正是太阳核心区域持续不断地发生无数的大规模“氢弹爆炸”，为太阳提供了源源不断的能量，为我们带来长久的温暖和光明。

（林清）



⑩

氢弹爆炸的能量来源是氢原子核的热核聚变，太阳的能源也是如此



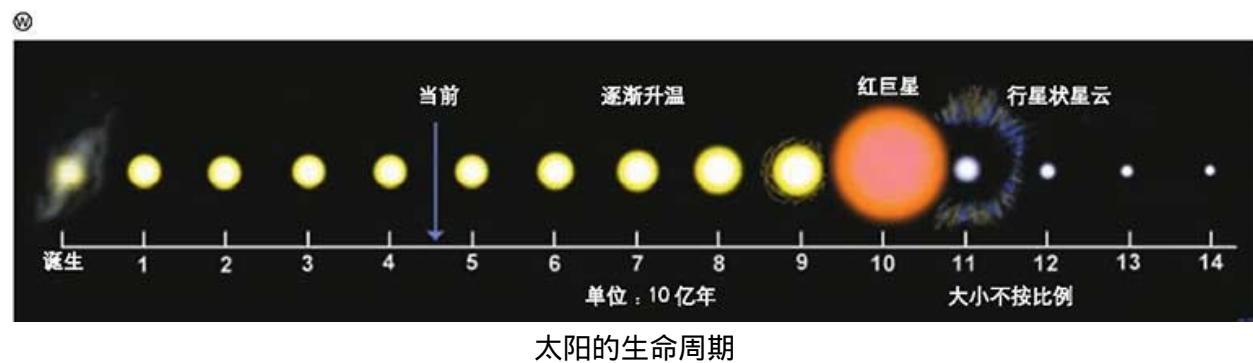
⑩

氢核合成氦核的过程

为什么说太阳也有生长老死

世上万物皆有生死，辉煌如太阳者亦不能例外。它和众多的恒星一样，也有诞生和死亡。

太阳起源于一团以氢分子为主的硕大气体云团。约50亿年前，一团原本十分稀薄的星云在某种外因的影响下开始收缩。由于引力作用，收缩一旦开始就会不断加速。在收缩过程中，动能转变成热能，使得气体温度逐渐升高，随着这团气体的密度越来越大，中心温度越来越高，一旦其核心达到了足够高的温度（约700万开），就会触发热核聚变反应。核心的热核反应“点燃”后，光辐射持续产生的“辐射压”能够有效地抵抗引力的作用，从而使得这团气体不再继续收缩，于是一个稳定的太阳就诞生了。





(左上) 太阳诞生于一团气体，(右上) 太阳变成红巨星后可以吞噬地球，(左下) 太阳抛出的外壳变成美丽的行星状星云，(右下) 太阳变成的白矮星，其强大的引力撕碎了靠近的小行星

恒星一旦发生热核反应，就进入了漫长而相对稳定的时期，即“主序星”时期。对太阳这种中等质量的恒星而言，“主序星”阶段长达100亿年，因此，太阳目前正处于它的“中年”，还能再稳定地过上50亿年。

漫长的50亿年之后，太阳也将步入“老年”。那个时候，太阳核心区大部分的氢都已消耗殆尽，太阳的外层会膨胀，变成一个硕大的红巨星，其半径可超过1天文单位，也就是可以把整个地球目前的公转轨道都“吞进肚中”。地球人怎么办？当然得提早考虑搬家，但那是几十亿年以后的事，现在无需为此操心。

红巨星阶段之后，太阳会进入非常不稳定的状态，不断产生强烈的脉动，就像一个病人不断地喘气。太阳的外层物质向外抛出，形成美丽的行星状星云。太阳的核心则会变成密度极高的白矮星，在漫长的岁月中慢慢

冷却和暗淡下去。

恒星的最终命运取决于它的质量，太阳在宇宙中只是一颗中等质量的恒星，它的最终命运是演化成白矮星，其质量大约是0.6个目前的太阳质量，体积则近似于地球的大小。如果原来的恒星质量比较大，演化晚期则会以超新星爆发的方式结束一生，恒星中心剩下的质量超过约1.4个太阳质量，演变成密度比白矮星更大的中子星。如果残余恒星质量超过约3个太阳质量，最终就会演变成黑洞，任何物质都将无法逃脱它的桎梏。（林清）

【微博士】太阳在银河系中的位置

太阳是一颗恒星，天文学中将其分类为黄色的G2型矮星，表面有效温度约5800开。太阳在天空中灿烂夺目，只因它是距离我们最近的恒星，距离地球仅约1.5亿千米。在银河系之中，它是一颗十分普通的恒星，在距离银心约26000光年且近乎圆形的轨道上环绕银河系核心运行，每转一圈需要约2亿年。

【微问题】质量远小于太阳的褐矮星靠什么发光？

【关键词】热核反应 主序星 行星状星云 白矮星

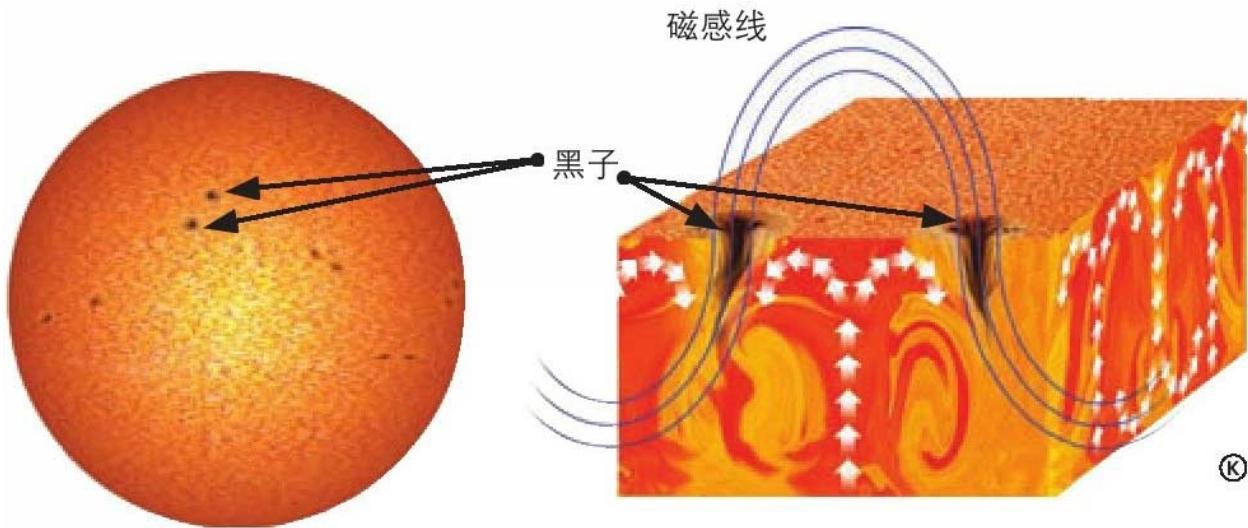
为什么太阳表面有时会长出“雀斑”

虽然总体上太阳是一个相当稳定的发光气体球，但它的大气层时刻经历着局部性的剧烈活动。从地球上看，明亮的太阳上时有“暗影”浮动，原本无瑕的日面会生长出些许暗淡的“雀斑”。

太阳的大气层从里向外可分为光球、色球和日冕三层。从地球上直接看到的是最底层光球，色球和日冕只有在日全食时才能用肉眼观察到。

我们平常所看到的太阳圆面就是太阳光球。光球的温度约5800开，平均密度只有水的几亿分之一，但由于它的厚度达500千米，所以是不透明的。光球看上去很光滑，实际上犹如一片沸腾的火海。光球层中存在着激烈的活动，用望远镜可以看到光球表面有密密麻麻如同一颗颗米粒般的结构，称为米粒组织。它们上下翻滚，活像一锅沸腾的粥，其实这是光球下面气体剧烈对流造成的现象。米粒的温度比周围温度高出300~400开，看上去就比周围背景亮；单个米粒的尺度在1000千米左右，但极不稳定，平均寿命仅5~10分钟。

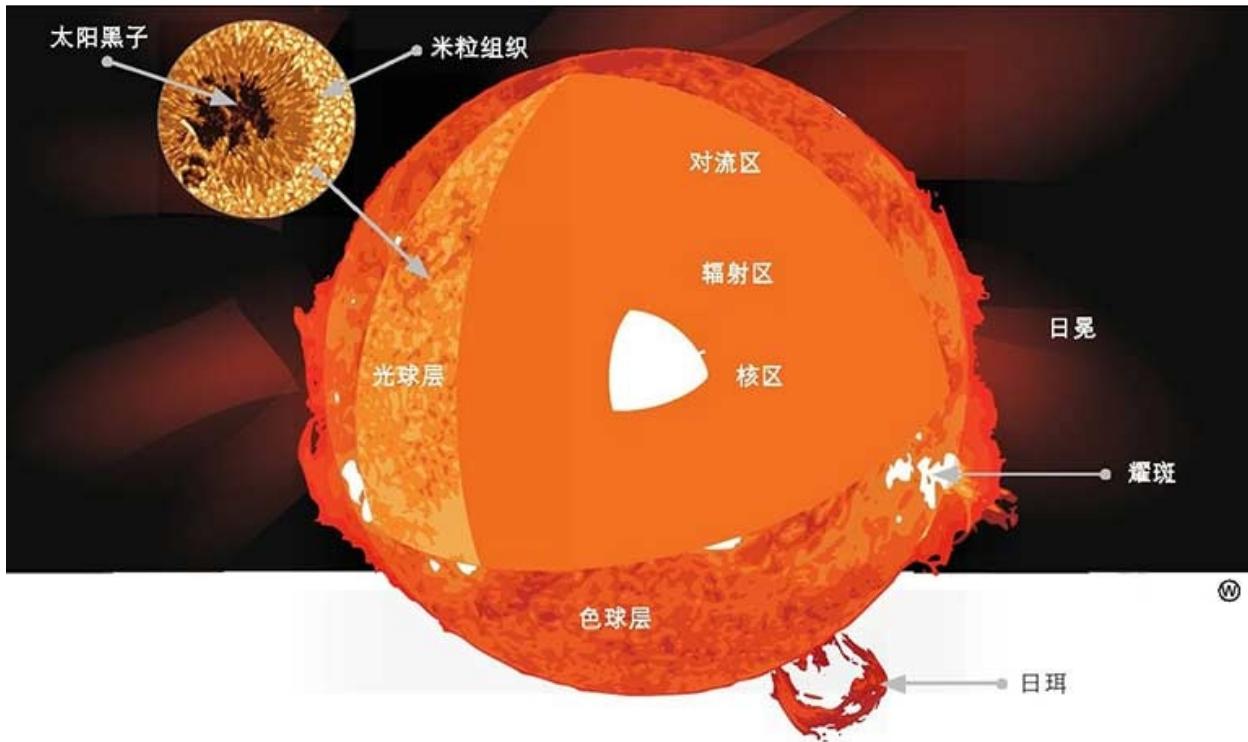
光球表面另一种著名的活动现象便是太阳黑子。黑子是光球层上的巨大气流旋涡，大多近似于椭圆形。其实黑子并不黑，只因黑子中央温度比周围光球的温度低1000开以上，在明亮背景的反衬之下才显得比较暗黑，而实际上它们的温度超过4000开，倘若能把黑子单独取出，一个大黑子的光芒便可以相当于满月。



太阳黑子及其附近区域的结构示意图

紧贴光球以上的一层大气称为色球层，平时不易被观测到。日全食时，当月亮遮掩了光球明亮光辉的一瞬间，人们能发现日轮边缘上有一层玫瑰红的绚丽光彩，那就是色球。色球层厚约2000千米，其物质密度和压力要比光球低得多。色球层上常会出现耀斑爆发，这是太阳大气中又一种复杂和剧烈的活动现象，表现为突然出现、迅速发展的局部亮斑。耀斑在短短几分钟到几十分钟内释放出的能量，与整个太阳1秒钟内释放的总能量相当。耀斑爆发会引起太阳风暴，大量高能的带电粒子（总量可达10亿吨）以数百千米每秒的速度席卷行星际空间。如果太阳风暴恰好朝向地球而来，会对地球附近的空间环境造成很大的影响。

在色球上人们还能够看到许多腾起的火焰，这就是所谓的“日珥”。日珥是色球层迅速变化着的活动现象，一次完整的过程一般为几十分钟。同时，日珥的形状也可说是千姿百态，有的如浮云烟雾，有的似飞瀑喷泉，有的好似一弯拱桥，也有的酷似团团草丛，真是不胜枚举。最为壮观的要数爆发日珥，本来或宁静或活动的日珥，有时会突然“怒火冲天”，拼命往上抛射气体物质。有时抛射物又返回太阳表面，形成一个环状，称为环状日珥。



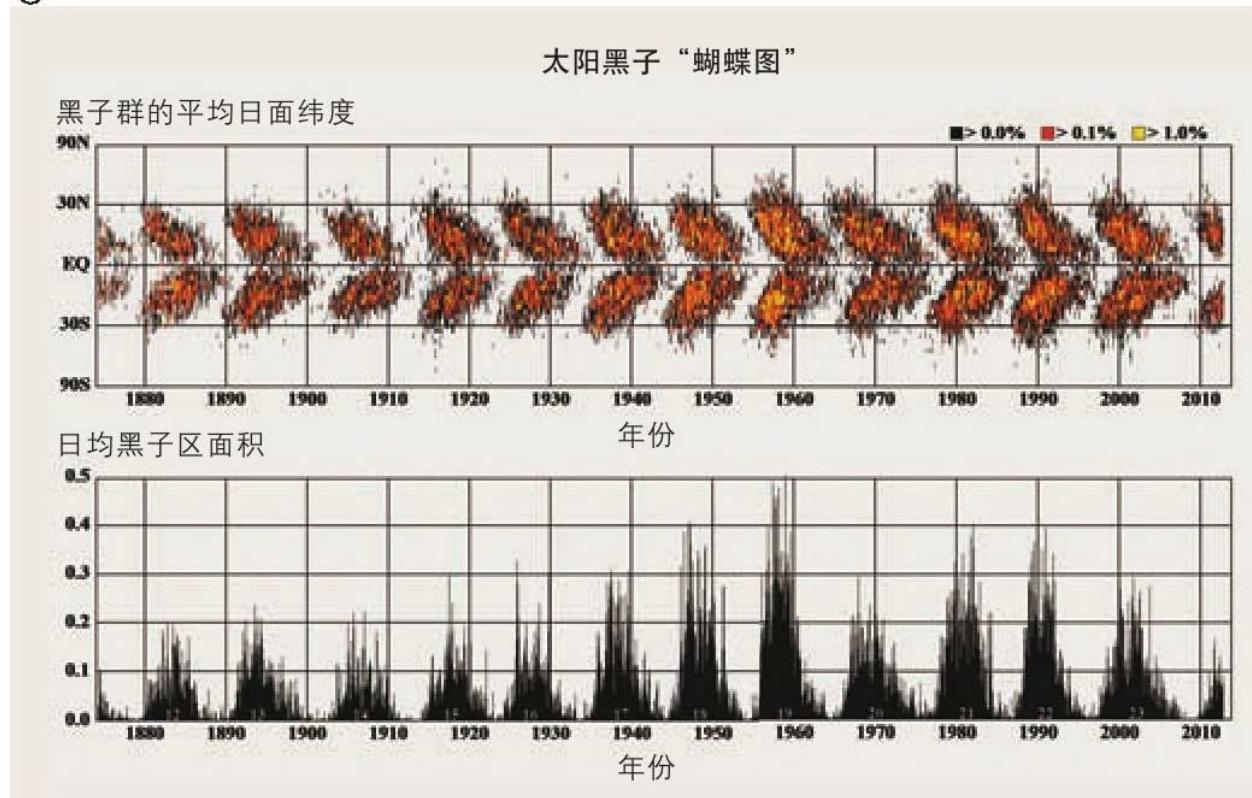
在日全食时的短暂瞬间，常常可以看到太阳周围除了绚丽的色球外，还有一大片白里透蓝、柔和美丽的晕光，这就是太阳大气的最外层——日冕。日冕的形状同太阳活动有关，日冕还会有向外的膨胀运动，并使得热电离气体粒子连续地从太阳向外流出，形成太阳风。（陈力）

为什么太阳黑子有些年份多有些年份少

人们经过长期观测发现，太阳表面黑子活动的盛衰具有平均约11年的周期性，称为11年太阳活动周。在一个活动周内，太阳表面的黑子数从无到有，逐年增加，直到黑子数最多的“峰年”，以后又逐年减少，直至消失不见。太阳黑子不仅数目呈现周期性变化，黑子在日面上的分布也有一定的规律性：活动周开始时，太阳黑子出现在日面南、北纬 35° 左右区域；到了黑子数极大年份，黑子大多数出现在日面纬度 15° 左右的低纬度区域；到活动周接近尾声时，黑子都出现在日面纬度 5° 左右的地方，并随之消失。如以时间为横坐标，黑子群的平均日面纬度为纵坐标作图，便可发现不同

年份黑子群的分布犹如一群排列整齐的蝴蝶，每隔11年重复出现，就像太阳脸庞在做周而复始的“祛斑”美容一样。

◎



究竟是什么原因造成了太阳活动11年的周期，至今仍然是一个不解之谜。需要指出的是，说一个太阳活动周大约是11年，这只是一种平均的结果。实际上，太阳活动周期的长短不是恒定的，而且变化相当大，有的不到9年，有的超过13年。分析300多年来太阳黑子数的变化曲线，可以看到，除了大约11年的周期之外，还存在一些更长的周期，叠加在11年周期之上，使得不同太阳活动周中极大年的太阳黑子数出现大幅度波动。这说明，导致太阳活动周期性变化的机制相当复杂，还有待于进一步的深入研究。（陈力）

黑子越多太阳就越暗吗

太阳表面小暗斑状的黑子貌似不起眼，按实际尺度却是一些庞然大物。小黑子的尺度约为1000千米，大黑子可达20万千米之巨，其内放进几十个地球绰绰有余。按“常理”，黑子越多，太阳就会越暗。然而，天文学家经过长期的观测却发现：黑子越多，太阳反而越亮。在太阳活动峰年，即黑子最多时，太阳最亮。太阳亮度的这种“反常”现象怎样解释呢？原来，在黑子大量出现的同时，黑子附近及太阳表面其他部位往往会出现许多远比光球明亮的耀斑，它们的亮度足以补偿黑子减弱的光亮而有余，因而整个太阳的亮度在黑子增多时反而变得更加明亮了。（陈力）

【微博士】太阳的大小和结构

太阳以光球为界分为内外两个部分。在太阳的内部，从中心延伸到半径的25%处是“核反应区”，即通过核聚变产生能量的地方；再向外延伸到约85%半径的地方称为“辐射区”，能量在其中以辐射的形式向外传递；再向外直到表面是“对流区”，能量以对流的形式传递到光球层。肉眼可见的“光球层”就是通常意义上的太阳表面，以此为界的太阳直径约139万千米。光球层厚约500千米，再向外是“色球层”，厚约2000千米，再往外是庞大的“日冕”，可以延伸到好几个太阳半径的地方，没有明确的边界。

【微博士】黑子、耀斑与日冕物质抛射的关系

黑子、耀斑及日冕物质抛射是太阳大气中的三种剧烈活动现象。耀斑与黑子有密切关系，绝大多数耀斑出现在黑子群附近。尤其是强耀斑，通常都出现在具有复杂磁场结构的大型黑子群上空；强耀斑也常与日冕物质抛射有联系。大致的次序是：首先在光球层出现大黑子群，在黑子群中发展出复杂的磁场结构，继而引起强耀斑爆发，并触发日冕物质抛射。

耀斑、黑子与日冕物质抛射都与太阳的强磁场活动有关。也许，正是磁场把太阳上的这三种活动联系在了一起。但是，各种太阳活动现象相互之间的联系是相当复杂的。有时候，没有黑子，也会有耀斑和日冕物质抛射。

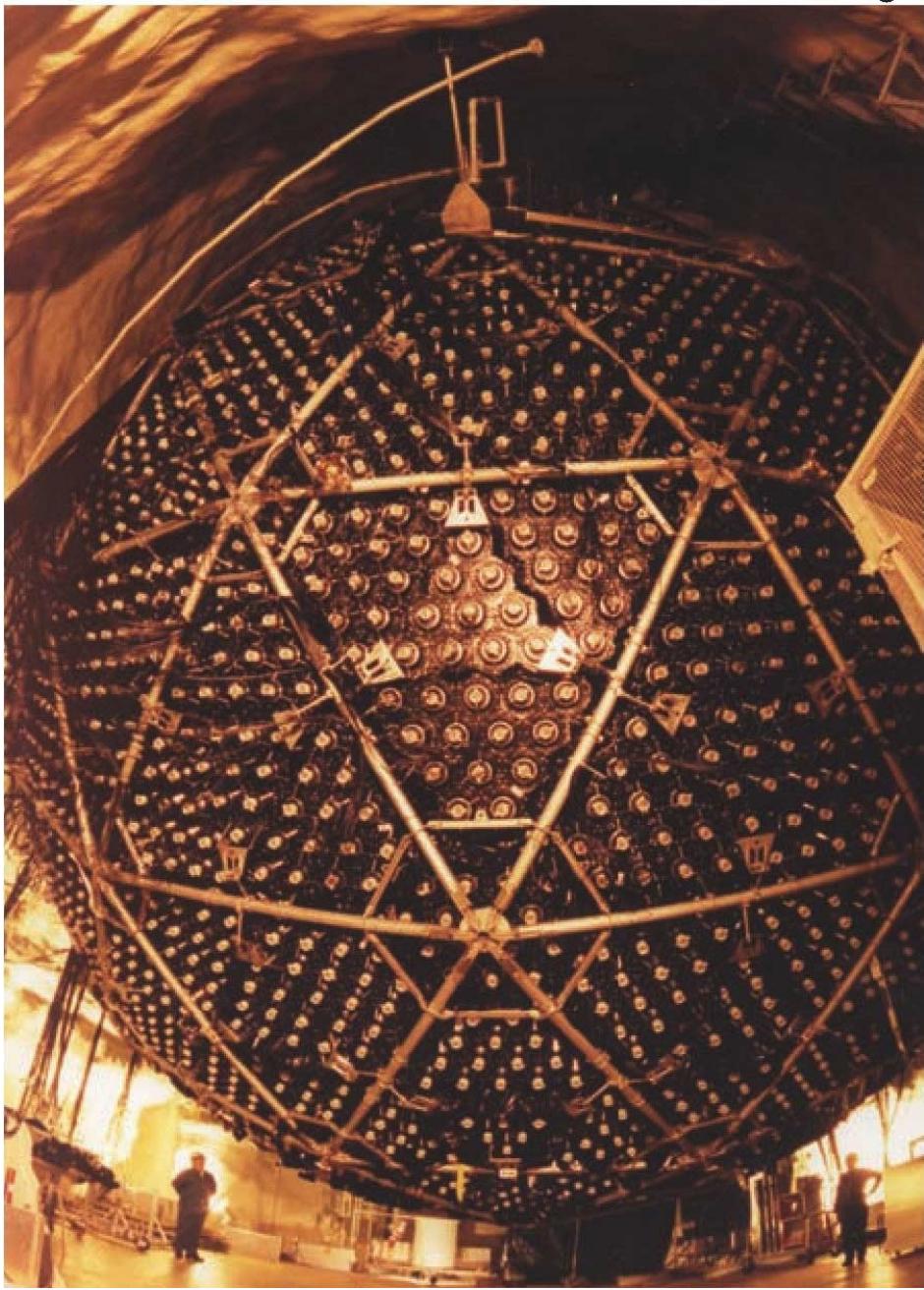
【微问题】太阳是一个标准的球形吗？

【关键词】光球 太阳黑子 色球 耀斑

曾经失踪的太阳中微子找到了吗

太阳的能源问题曾经长期困扰着物理学家和天文学家，直到20世纪30年代，科学家才认识到太阳的能量来自其核心的核聚变。核聚变理论很好地解释了太阳各项观测特性，但有一个现象却和理论预测不一致，为此困惑了天文学家很多年。

根据核聚变的规律，如果太阳的核心确实在进行大规模的热核反应，那么就会产生大量的中微子。中微子是一种十分奇特的粒子，它不带电荷，而且根据描述基本粒子相互作用的标准模型，其静止质量为零。另外，中微子还有一个特点，就是不参与电磁相互作用和原子核内部的强相互作用，因此穿透力极强，要“捕捉”中微子难乎其难。



加拿大萨德伯里中微子天文台的探测器，里面装灌了1000吨重水

为了验证太阳核心核聚变的理论，科学家必须设计一些特别的方法来测量太阳中微子的实际数目。为此，科学家巧设“陷阱”，在美国南达科他州地一个深达1.5千米的金矿里，美国物理学家戴维斯主持了历史上第一次测量太阳中微子的重要实验。但1968年的实测结果表明，实际的太阳中微子数目只有理论预言数目的 $1/3$ 。大量的太阳中微子失踪了！

后来，物理学家改进了测量方法，日本科学家小柴昌俊领导的神冈中微子探测实验再次证实了类似的现象。一时间，太阳中微子失踪之谜成了科学家热议的话题。哪里出了问题？天文学家错了？太阳能量并非来自核聚变？还是物理学家关于中微子的理论错了？

人们首先想到的是修改标准太阳模型。然而，日震学的研究成果表明，太阳模型没有问题，无论怎样调整太阳模型都无法符合中微子的实际测量结果，对模型进行任何调整都反而会使得其他方面的矛盾更多。

科学家被迫尝试修正关于中微子的理论，提出了“中微子振荡”的概念。目前已知中微子有三种类型：电子中微子、 μ 中微子和 τ 中微子。中微子振荡理论指出，不同类型的中微子可以相互转换。因此，太阳释放出的电子中微子可能有一部分在旅途中转变成了其他类型的中微子。由于当前的测量手段只能检测到电子中微子，所以造成了太阳中微子短缺的表象。然而，这一理论同时也意味着中微子的静止质量并不为零，这就对粒子物理学的许多基本观念提出了挑战，需要严格的科学实验来检验。

1998年，日本的超级神冈探测器首次发现了中微子振荡真实存在的确切证据，实验中， μ 中微子确实转换成了 τ 中微子。2001年，加拿大的萨德伯里中微子天文台发表了新的测量结果，探测到了太阳发出的全部三种中微子，其中仅有35%是电子中微子。三种中微子的总流量与标准太阳模型的预言符合得很好，从而彻底解决了先前观测到的太阳中微子缺失问题。

2002年，领导首次中微子测量实验的戴维斯和神冈探测器的领导者小柴昌俊共同获得了诺贝尔物理学奖，他们对基本粒子物理学的贡献将伴随着神秘的中微子之谜而永远为后人所称道。（林清）

为什么日冕的温度反而比太阳表面的温度还要高

太阳的核心是一个温度高达1500万开的超高温大熔炉，核反应产生的

巨大能量从核心向外传递，温度逐渐降低，到太阳的表面，温度已经降低到只有5800开。

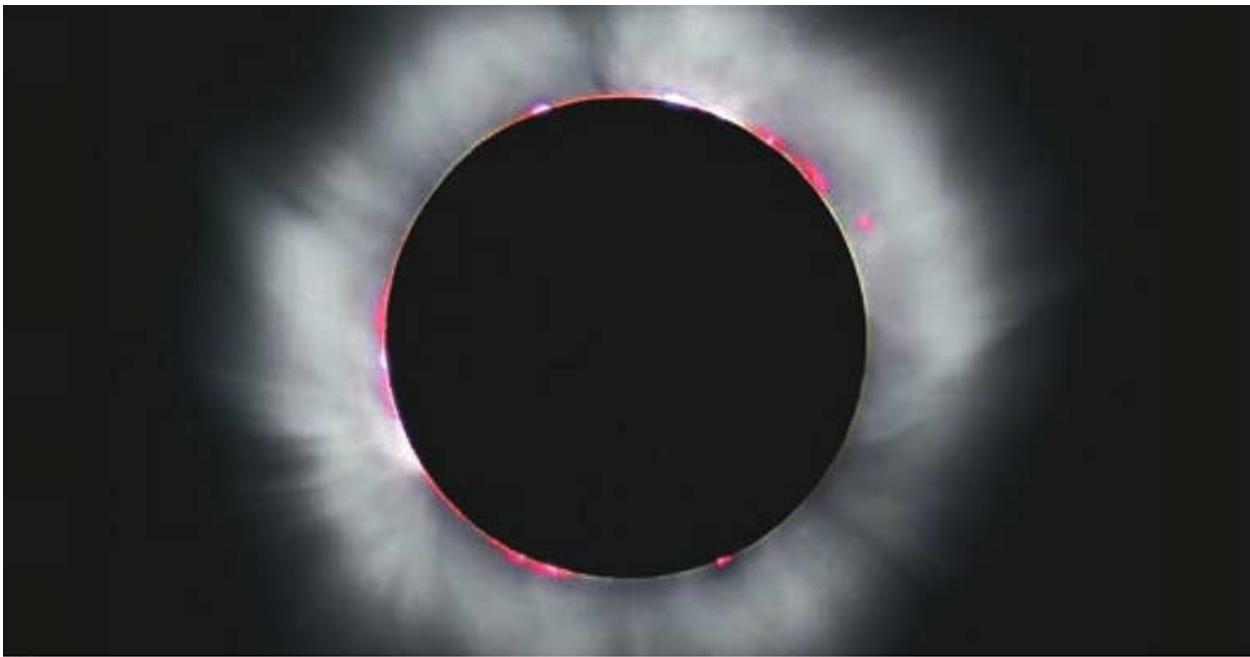
然而，科学家在太阳表面的外侧却发现了一个奇怪的现象：随着与太阳表面距离的增加，温度反而升高了。日冕是太阳外层范围宽广的等离子体结构，其密度仅为光球层的 $1/10^{12}$ ，但是测量结果却表明其温度竟然可以高达100万~300万开！

色球层和日冕之间，有一个厚度从十千米到数百千米的“过渡区”，温度正是在这里突然升高。从热力学角度很难解释这样一种现象，就好像一个电灯泡竟然能将周围的空气加热到比灯泡还热。为此，必须寻找非热力学的加热机制。

几十年来，科学家们提出了许多日冕加热的理论，目前被广泛接受的有声波致热和磁重联两种理论。

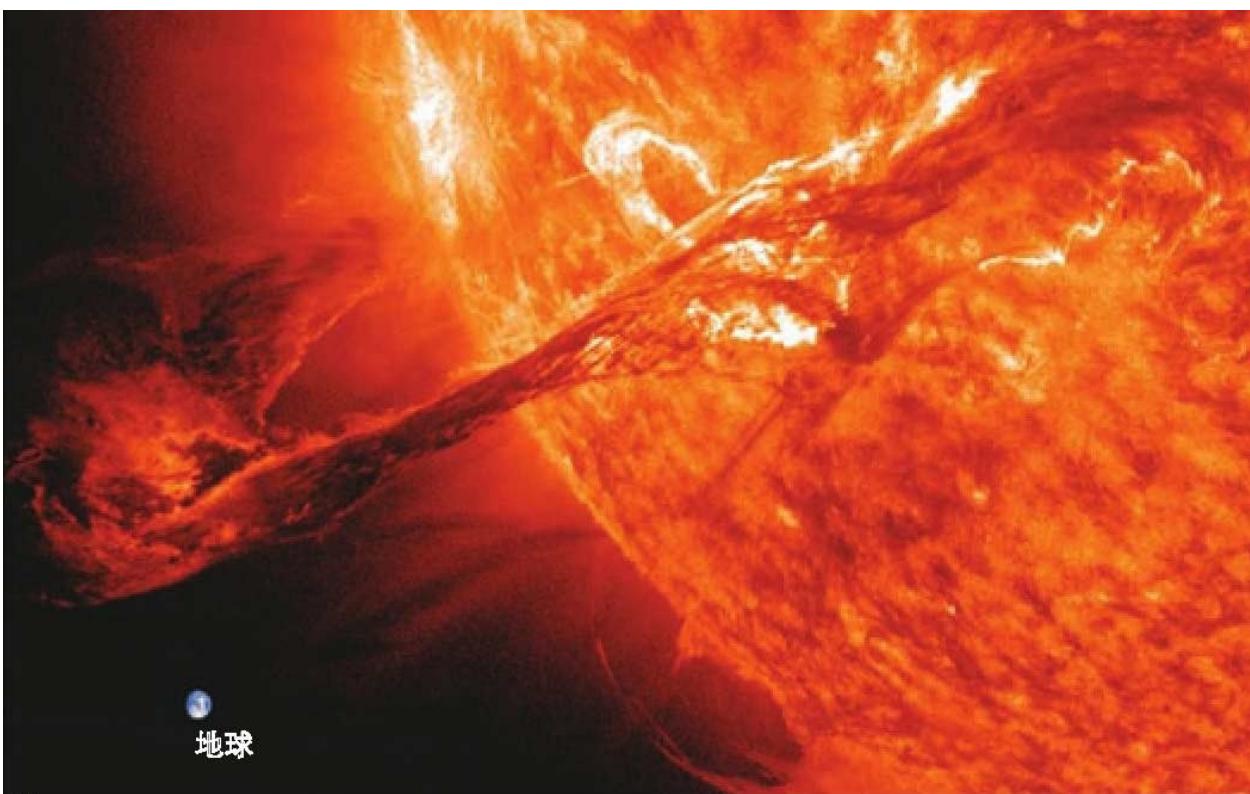
声波致热理论是1949年提出的。太阳是一种充满了磁场的高温等离子体，因此描述磁场中等离子体波动现象的磁声波和阿尔文波被认为是太阳最重要的波动模式。太阳光球上，米粒组织或超米粒组织的扰动都会产生这两种波，它们都可以携带能量，穿越太阳外层大气，最终以激波的形式将能量转换成热能。

另一种可能的加热机制是磁重联理论。太阳磁场在日冕中引发电流，这些电流能够维持磁感线形成一个个独立的磁圈。然而，在某些情况下这些电流会突然崩溃，从而允许磁场被重新连接到其他磁极，这一过程就叫“磁重联”，这一过程中会有许多能量以热能和波动能的形式释放出来。太阳表面有数以百万计被磁化的小区域，而且不停地被米粒组织翻搅着，日冕中的磁场就必须不停地与这张“磁性地毯”进行“重联”操作，整体产生的热能不可轻视。



⑩

日全食时看到的日冕



⑪

2012年8月31日的一次太阳活动，日冕物质以约1500千米/秒的速度被抛射出来

然而，到目前为止，我们还只知道这个加热机制肯定与磁场有关，却

没有一种理论能够非常理想地定量算出日冕的高温，最终的解决也许需要两种甚至多种理论相结合。这一谜题尚有待更多的观测数据和更深入的思考来解决。（林清）

【微博士】日冕上的“洞”

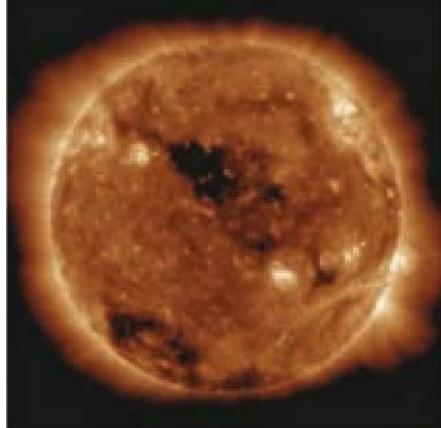
用X射线或远紫外线拍摄的日冕照片中，存在着大片不规则的暗黑区域，这就是冕洞。它们对应于日冕中部分温度较低、密度较低的等离子体区域，存在时间一般在几十天以上，最长可达1年。冕洞可分为位于两极区域的极区冕洞、分布于低纬度区域的孤立冕洞和向南北方向延伸的延伸冕洞等几种类型。

【微博士】日震学

日震学是利用日震现象来研究太阳内部结构的科学。天文学家通过研究太阳的吸收谱线，根据多普勒效应的原理，发现太阳表面存在着上下振动的现象，振动的周期由数分钟到数小时不等。类似于用地震波来推测地球的内部结构，天文学家也可以利用日震现象来推测太阳的内部结构，包括温度、密度、压力、组成物质和运动等。

【微问题】日冕的尺度有多大？

【关键词】太阳中微子 日冕 日震

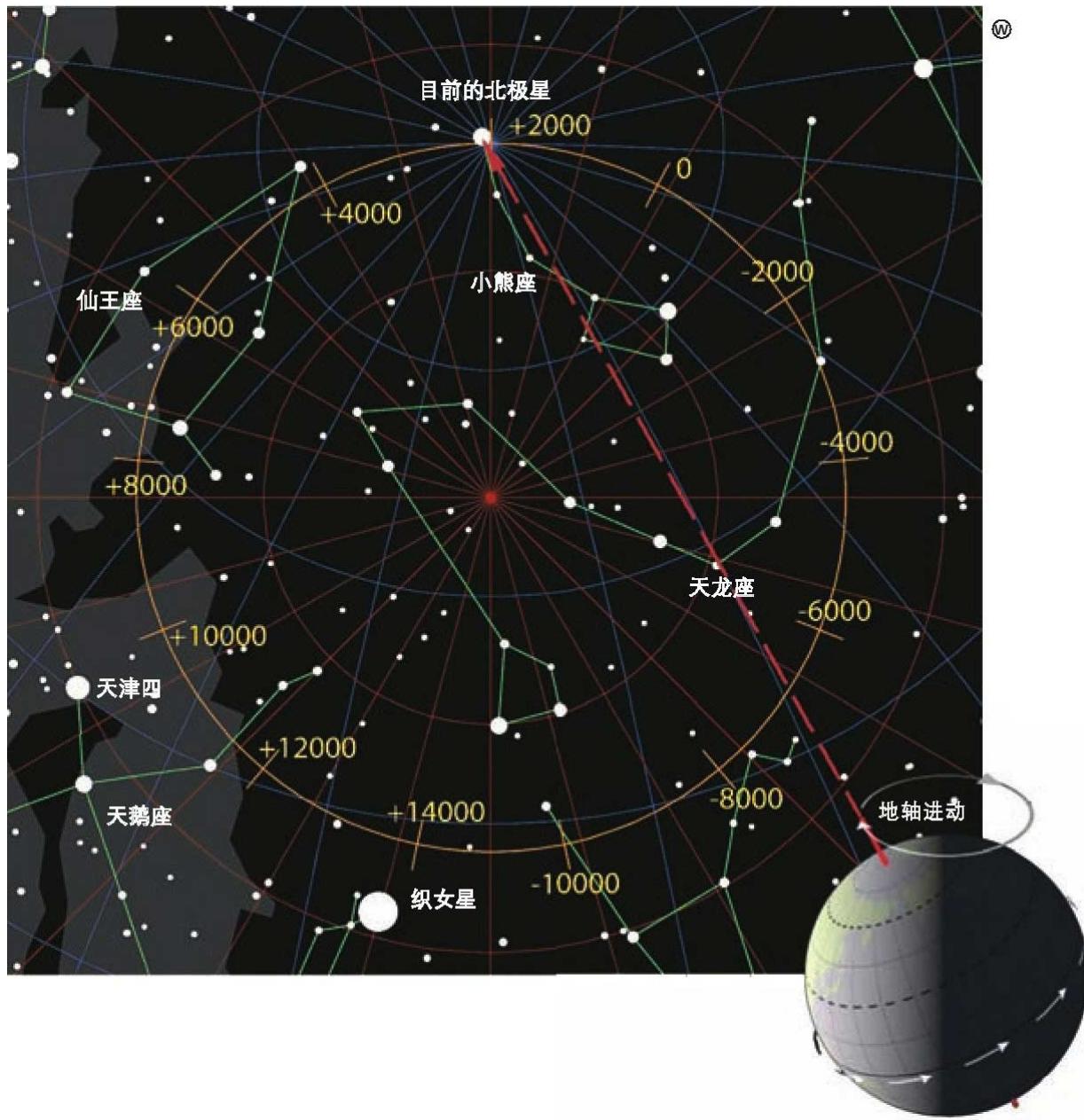


◎N

为什么说北极星不等于北天极

我们把天上的星星想象成分布在一个球面——即天球上。地球自转轴与天球相交于两个交点，与地球北极对应的叫北天极。北天极附近有一个小熊星座，其中最亮的一颗星小熊座 α 被称为“北极星”，它非常靠近北天极现在的位置，两者相距不到 1° ，因此成了指示北方的天然标志。

小熊星座是相对固定的，然而，地球自转轴在太空中所指的方向，却并非固定不变。因为地球并非完美的圆球，它的赤道部分稍微突出一些，而两极部分则略为扁平。此外，地球的自转轴与地球公转轨道平面（即黄道面）相交成约 66.5° 的夹角，而太阳对地球的引力是沿着黄道面方向，与地球的赤道面成大约 23.5° 的交角，月亮对地球的引力也在此方向附近。这样一来就产生了一种拉力，要把地球赤道突出的部分拉到黄道面内去。可是，地球在自转，转动的惯性使得地球自转轴围绕着通过地球中心并与黄道面垂直的轴线旋转出一个圆锥。地球自转轴的这种运动，称为进动。



地轴进动引起北天极在群星间绕北黄极转动，即岁差运动

由于地球自转轴的进动，北天极在天球上相对于恒星的位置以大约26000年为周期画出一个很大的圆。这个圆的半径所张的角度就等于地球赤道面与黄道面的夹角，也就是约 23.5° 。由此可知，我们今天看到小熊座 α 星非常靠近北天极，只是一种暂时的巧合。四五千年前，北天极在天龙座 α 星（中国古代称为“右枢”）附近，可是，右枢星是一颗不起眼的4等星，让它来充当“北极星”的角色，实在是勉为其难了。于是周、秦时代，我们

的祖先以“帝星”为北极星，这颗恒星即小熊座 β 星，是一颗2等星。随着时间流逝，北天极慢慢向小熊座 α 方向移动，使得它越来越成为名副其实的“北极”星。然而这种趋势不会永远持续下去。到2100年左右，北天极与小熊座 α 的角距离达到最小（约28'）之后，北天极就会慢慢离开小熊座 α 。再过12000年，北天极将移动到织女星附近，织女星会成为新的北极星。它是一颗非常明亮的星星，寻找起来比现在的北极星要容易得多。

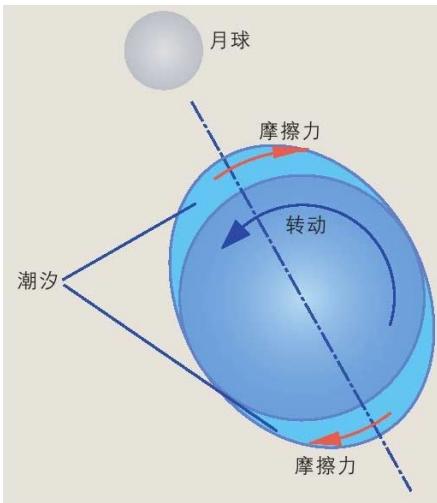
与北天极的变迁相对应，地球自转轴的进动还会产生岁差运动。地球赤道面向外延伸与天球面相交的轨迹称为天赤道；黄道面向外延伸，与天球面相交的轨迹则称为黄道。天球上黄道与赤道的交点，即为春分点。由于进动的作用，春分点每年会沿着黄道自东向西移动约50''的角度。由于春分点的移动，太阳每年同一时刻在天空中的位置就会发生微小的偏移，经过长时间积累后，就会发现每年的同一时刻，太阳相对于恒星背景的位置是在移动的，这种运动就称为岁差运动。（林清）

地球上的一年永远都是365天吗

地球自转周期是一个恒星日，目前其准确值为23小时56分4秒，而日常生活中使用的则是平太阳日，即24小时。与此相对应，当前地球绕太阳公转一周大约需要365平太阳日，因此我们现行的历法就定义一年为365天，逢到闰年则增加1天。

然而，地球的自转速度并不均匀，而且还存在长期变慢的趋势。20世纪20年代，地球自转速度的长期减慢和季节性变化相继被发现。

日月引力对地球的潮汐作用是使得地球自转速度变慢的主要因素，它使得1个平太阳日的长度在1个世纪内增长1.6毫秒，长期累积起来，就会导致一年的日数逐渐减少。而在远古时期，情况正好相反。地质研究表明，在5.7亿年以前的寒武纪，地球一昼夜只有20.47小时，一年428日；3.7亿年



前的泥盆纪中期，每天22小时，一年398日。地球公转的周期较为稳定，因此一年的天数变少，是地球自转长期变慢的明确证据。

⑩

月球的潮汐作用对地球自转速度影响最大



上海天文台的高精度天文钟

季风的作用引起地球自转的季节性变化，一般表现为春天变慢、秋天变快，变化的幅度可达20~25毫秒。另外，地球内部的物质运动、表面的板块运动、冰川的消融和位移，甚至陨星的撞击等，也都会造成地球自转速度复杂的不规则变化。

正是由于地球的自转不均匀，使得依赖于此的“1秒”的长度也会发生不规则的变化，这就给需要极其准确时间的工作带来了麻烦。为此，1967年召开的第十三届国际计量大会决定把1秒的长度改为一种特定的铯原子所产生的电磁辐射振荡周期的9192361770倍。由于原子振荡的稳定性远远高于地球的自转，所以这样定义的秒长精度极高，以此为基础的时间计量系统，称为国际原子时。

原子时秒长的定义，是为了尽可能与日常生活所熟悉的由地球自转定义的秒长相一致。然而，这两个时间系统毕竟依赖于完全不同的物理过程，因此不可能绝对一致。按目前的标准定义，即使地球自转严格保持速度不变，一年下来国际原子时也会比平太阳时快将近1秒。这就意味着，如果在日常生活中完全采用国际原子时，那么误差累积几万年以后，可能就会面临在中午时分迎来日出的尴尬情况。

为了解决这个问题，国际天文学联合会和国际无线电咨询委员会提出了一种“协调世界时”的系统，采用原子时的1秒作为基准，使其按照原子时系统均匀走时，但是在时刻的计量上，要求根据实际需要，决定是否在6月30日或12月31日增加1秒，即在协调世界时23时59分59秒之后插进一个60秒，然后才是次日的0时0分0秒，以此补偿世界时落后于原子时的差距，称为闰秒。由于地球自转速度变化很不规则，所以具体在什么时候需要闰秒，必须根据对地球自转的实际观测结果确定。（林清）

【微博士】早已错位的黄道十二星座

黄道十二星座，原是由古巴比伦人和古希腊人为了表示太阳在黄道上的位置而划分的。然而由于岁差的原因，不同日期太阳所在的星座早已发生了变化。比如，2000多年前春分的时候（即3月

21日），太阳位于白羊座，而现在则已经移到了双鱼座，很快即将进入宝瓶座。也就是说，按照出生日期被判定为白羊座的人，其实他出生时的太阳已经处于双鱼座了。而且今天的黄道星座也已经不是12个，而是13个，比古希腊时代增加了1个蛇夫座。今天的占星术却依然沿用2000多年前的黄道十二星座来“预测”人的命运，是完全没有科学依据的。

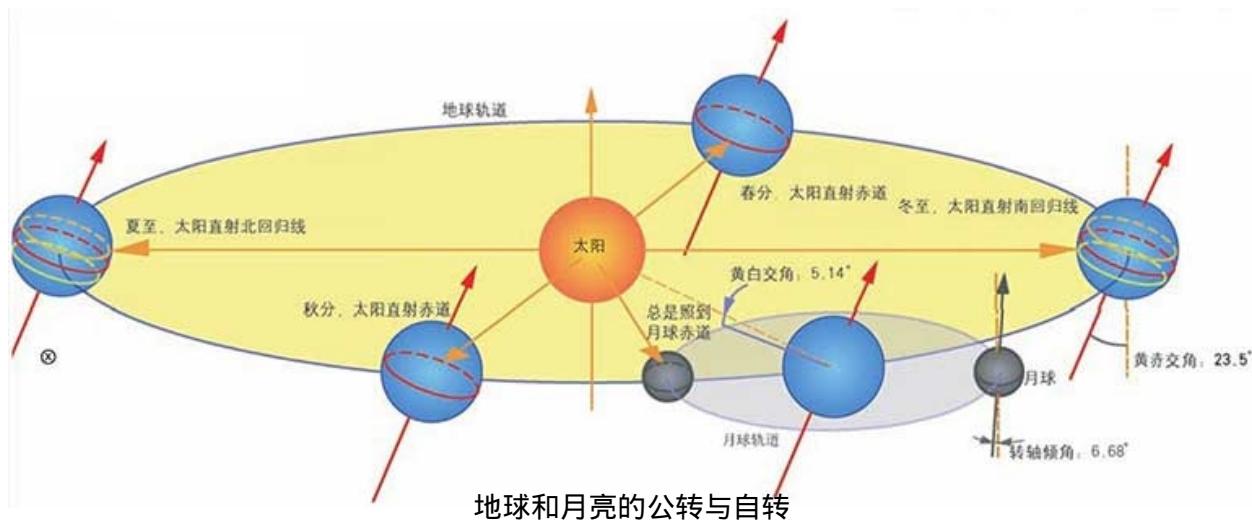
【微问题】原子时间在地面上和太空中一样吗？

【关键词】北极星 岁差 协调世界时 闰秒

为什么月球上只有昼夜，没有四季

所有绕恒星旋转的行星，或者行星的卫星，如果它们自转的周期与绕恒星公转的周期不同，它们的表面就会出现昼夜交替的现象。昼为光，夜为阴，描述时间流逝的“光阴”一词源出于此。月球随着地球绕太阳转动的周期为一年，而月球自转的周期为一个月。因此月球上有昼夜交替，半个月是白天，半个月是夜晚。白天酷热，温度高达 127°C ；夜间奇冷，温度低至 -183°C 。

行星或卫星有四季的原因一是绕太阳公转，二是自转轴与公转轨道平面有一定的倾斜而并非相互垂直。比如地球自转轴倾斜约 23.5° ，6至9月，阳光直射北半球，因此北半球昼长夜短，天气炎热；而12月到3月，阳光直射南半球，北半球昼短夜长，天气寒冷。南半球则相反。如果地球自转轴不倾斜，纵然绕太阳公转，也不会有四季变化；尽管人们可以根据星空的变化而测出公转周期，但不会产生岁序更新、寒来暑往的感受，只有日复一日，永无变化的、单调的昼夜循环。火星、土星、海王星的情况与地球类似。水星、金星、木星的自转轴几乎没有倾斜，因而没有四季变化。月球自转轴与地球公转轨道平面近乎垂直，所以月球上同样是虽有一年而没有四季。（苏宜）

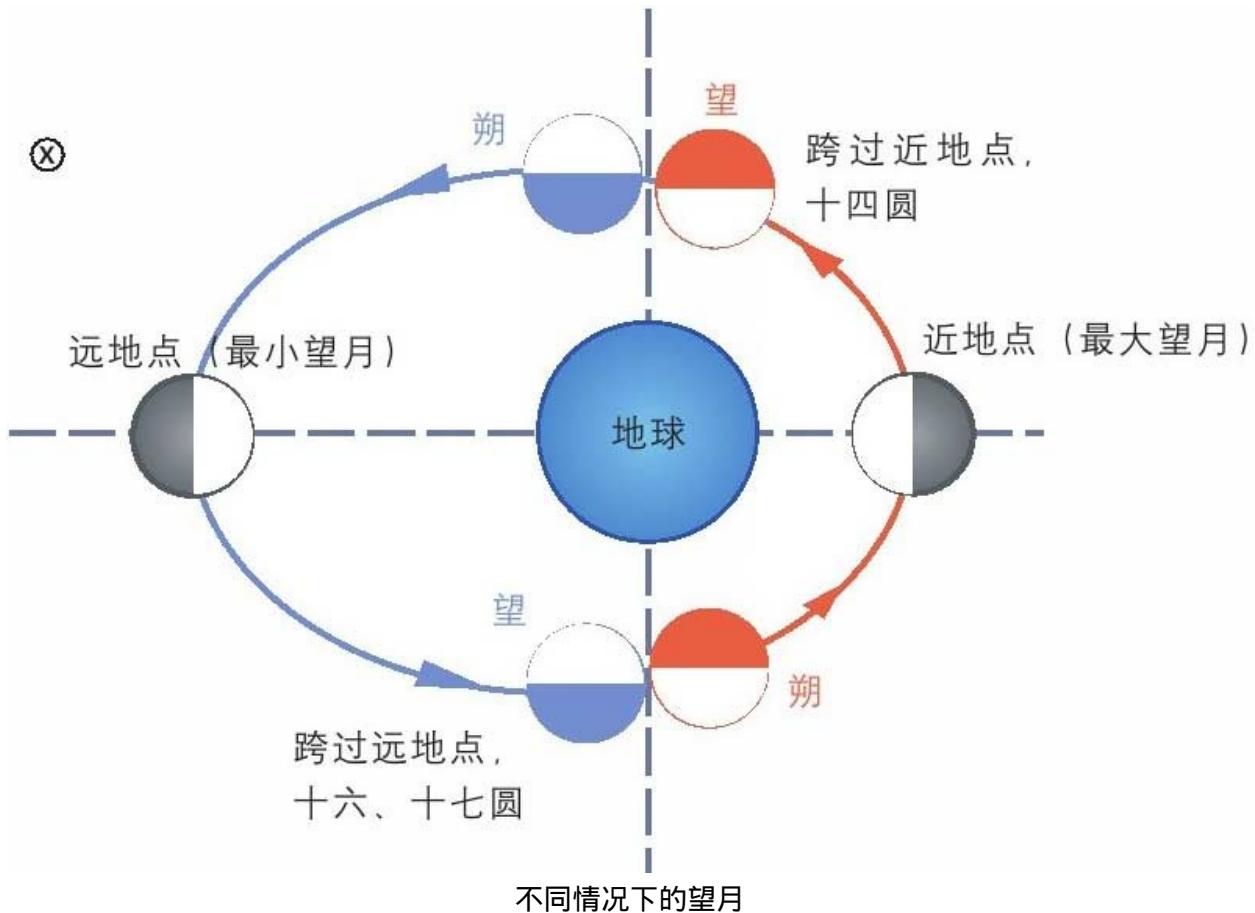


八月十五的月亮最圆吗

在中国农历中，“朔”是一个时刻，有“朔”的那一天为农历的“初一”，朔夜是月黑之夜。“望”也是一个时刻，有“望”之夜便是月圆之夜。如果“望”恰逢白天，那么，上午“望”的，则凌晨月圆，下午“望”的，则黄昏月圆。

由于月球绕地球公转的轨道是椭圆，所以朔与望之间的时间并不固定。如果朔时月球在图中轨道上方，从朔到望跨过远地点，运动速度慢，所需时间较长，须等十六甚至十七月亮才会圆；如果朔时月球在图中轨道下方，从朔到望跨过近地点，运动速度快，所需时较短，也许不到十五月亮就圆了。

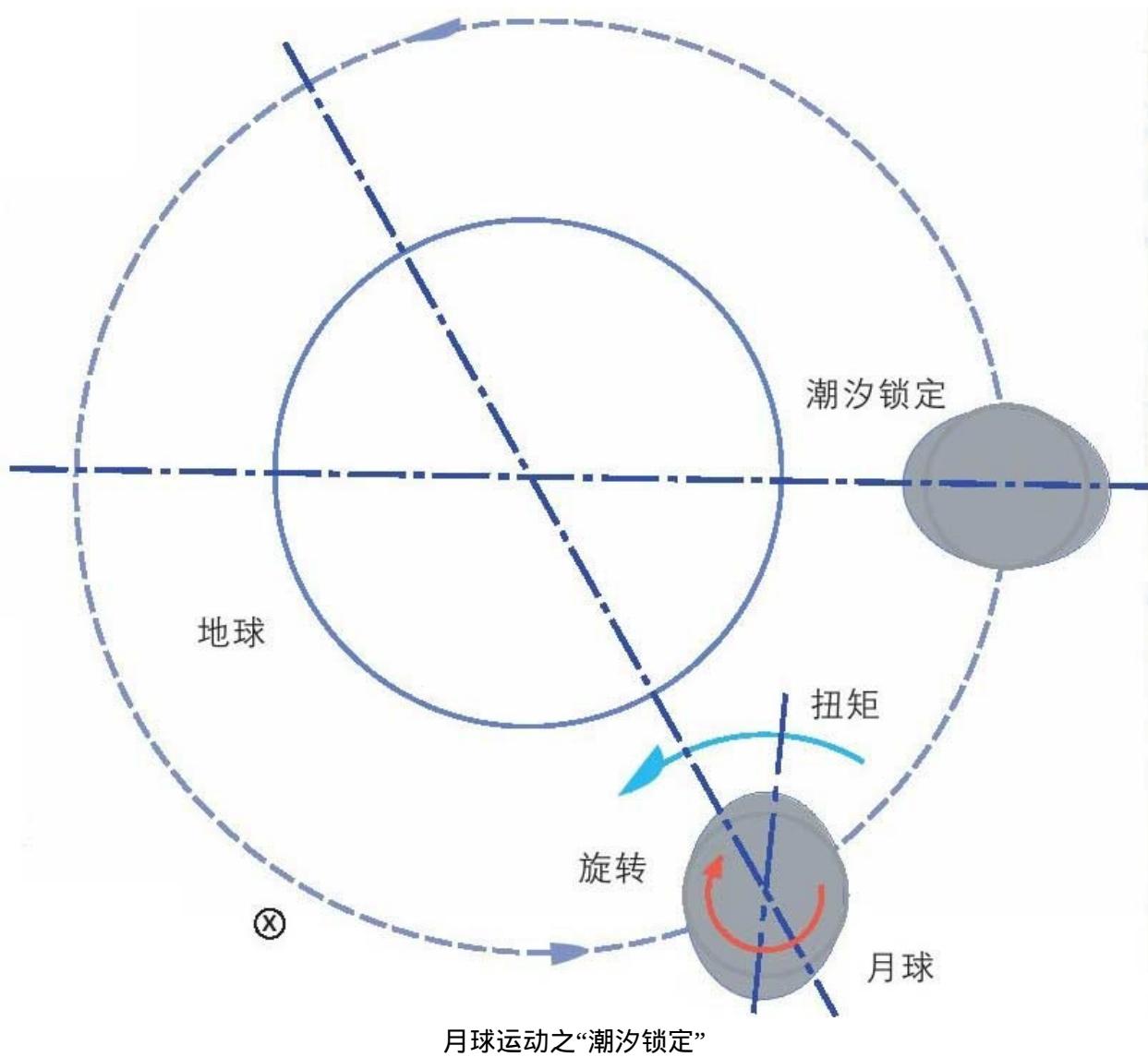
事实上从2005到2020年共16年，有198个朔望月。望的农历日期：十五70次；十六95次；十七31次；十四2次。16个中秋月圆之夜，9次在八月十六，3次在八月十七，只有4次在八月十五。16个元宵佳节，月亮正圆的只有6次，8次月圆在正月十六，2次月圆在正月十七。2009年农历三月和2020年农历六月，“望”都发生在十四。即使同为望月，还因地月距离不同而有大小之分。月相“望”，又在近地点，月、地、日三者位置接近直线，天气又十分晴好，我们看到的才是最大最圆的明月。这一时间不一定在中秋或元宵，其他月份也有可能。所以，“月到中秋分外明”，未必如此。“海上生明月，天涯共此时”也有局限性：天涯各处，看到月亮从海上升起的时刻是不同的；如果相距很远的话，也许一处白天、一处夜晚，不可能同时看到天上的月亮。（苏宜）



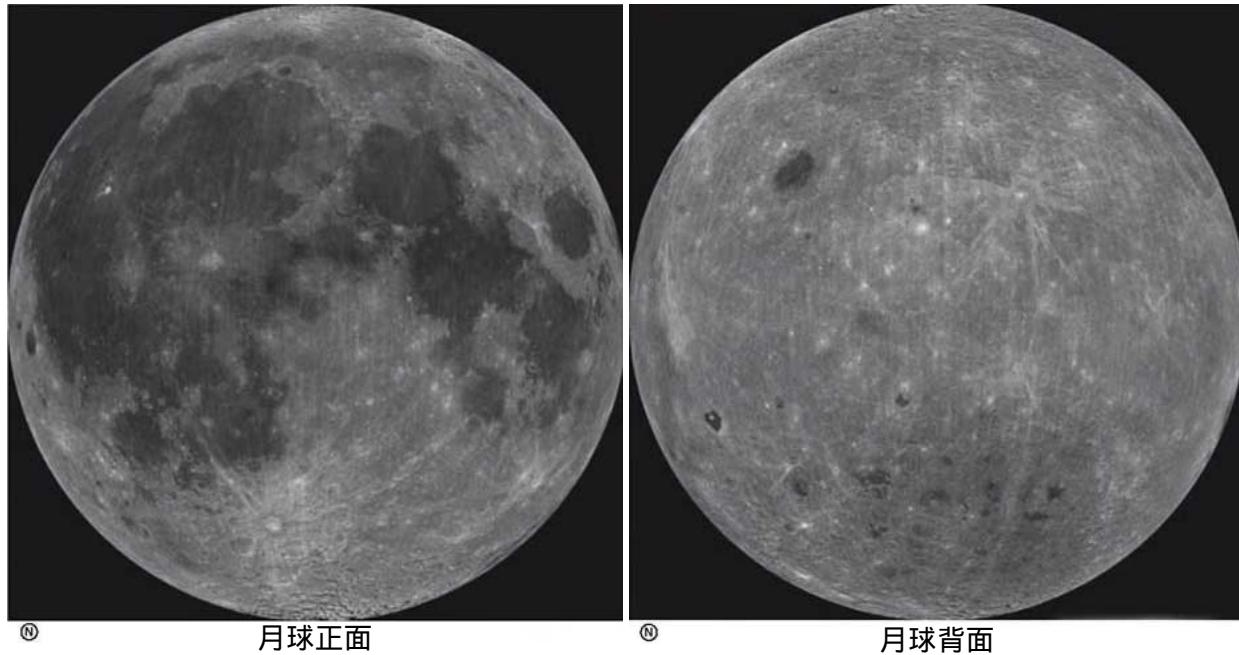
为什么在地球上看不到月球的背面

月球与地球组成一个力学系统，称为地月系。月球和地球都绕地月系的质心公转，周期为一个恒星月。而月球公转的同时也在自转，而且自转周期与公转周期（恒星月）相同。正是因为这个原因，月球总以同一面对着地球；人在地球上，永远看不到月球的另一面。

月球的公转和自转正好同步的现象，称之为“潮汐锁定”。这种锁定在互相绕转的天体中很常见。在木星的卫星中，已知有8颗是潮汐锁定的。在土星的卫星中，已知有15颗被潮汐锁定。冥王星和冥卫一大小相近，也是互相潮汐锁定的。



当两个天体，比如地球和月球，互相绕转时，它们之间的引力会把星球从“球形”拉成“椭球”形。这样变形了的天体如果相对于质心的连线有转动的话，引力就会对它施加一个扭矩。这个扭矩会倾向于把它稳定到相对质心连线不再转动的状态。这个状态就是潮汐锁定。两个天体中小的一个，比如月球，会较快达到锁定状态。而大的那一个，比如地球，到达这种锁定的状态会很慢。但在月球的潮汐作用下，地球的自转依然是在不断变慢。如果时间足够长，也是可以达到锁定的。真要如此，地球上的“一天”也就有可能相当于“一个月”了。（苏宜 柴一晟）



【微博士】恒星月与朔望月的差别

朔望月就是月相从一个朔（或望）变化到下一个朔（或望）的周期，即从地球上看，月亮与太阳之间相对位置变化的周期。朔望月平均长度为29.5305882日。朔望月的长短受地球绕太阳公转速度的影响，不够稳定。而恒星月是以恒星为参考背景的月球绕地月系质心公转的周期，等于27.32166140日。恒星月是月球公转的物理周期，长度基本稳定。

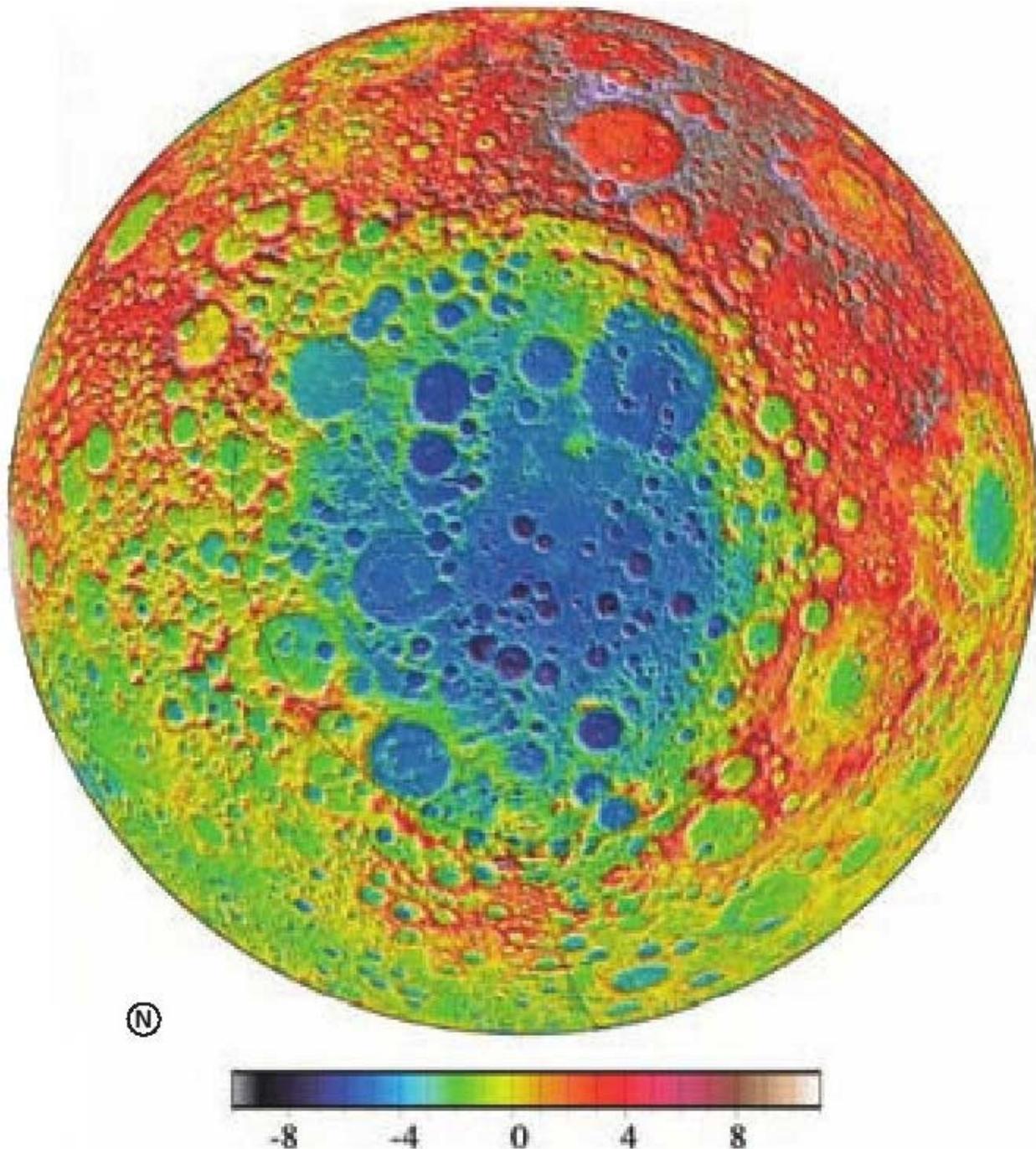
【微问题】其他行星的卫星一天也等于“一个月”吗？

【关键词】朔 望 潮汐锁定

月球上有水吗

猜一猜，什么地方有“海”却没有水？月球。从雨海、静海、澄海到丰富海、云海，从阿丽阿黛溪再到虹湾、风暴洋，月球上到处都是和水有关的地名。但20世纪美国“阿波罗计划”采集回来的月岩却异常干燥，比地球上最干燥的沙漠还有过之而无不及。因此，除了地名之外月球和水似乎再无瓜葛。

这一直接后果就是在月球上建立长期甚至永久基地的可能性变得渺茫。因为水是一种非常高效、易于使用和储存的氢、氧载体，它可以维持人类的日常需要，用来生产火箭的推进剂、为地球和月球之间的运输系统提供燃料。试想在月球上工作了好多天的宇航员们无法洗个澡是什么样的情形？月球上没有水，要建设和运行月球基地就必须从地球上运水，这个成本实在太高昂了。



月球南极附近的地形图。用颜色表示高度，红为高，黄居中，蓝为低。可以看到一些很深的陨星撞击坑（深蓝色），那里有一些永久阴影区，可能藏有水冰

但从目前来看，也许先前那个谜语的答案并不是十分准确。与地球近 23.5° 的黄赤交角不同，月球的赤道与黄道的交角只有大约 1.5° 。自转轴几乎和黄道面垂直的构形，使得月球两极的一些地区可能会处于永久的黑暗

之中。日本“月亮女神”探测器发现，月球两极确实存在永久阴影区。那里的温度保持在大约50开（-223°C），被形象地称为“低温陷阱”。其结果是，由陨星带到月球上的水冰就会在低温陷阱中积累并被永久保存。

事实上，近半个世纪前天文学家就开始争论，月球上可能有冰。但直到20世纪90年代初才有了些许眉目，而它缘起的地点则是出人意料的比月球环境更为严酷的水星。当时天文学家使用雷达探测水星的地貌，接收到了来自水星两极环形山中永久阴影区的回波。从回波的特性来看那里似乎存在一个厚冰层。

受这一“利好”消息的影响，1994年科学家在美国“克莱芒蒂娜”月球轨道飞行器上安装了一个雷达。当它经过月球南极上空的时候，反射回来的信号也“预示”有冰存在的痕迹。但很多人对此存有疑问。

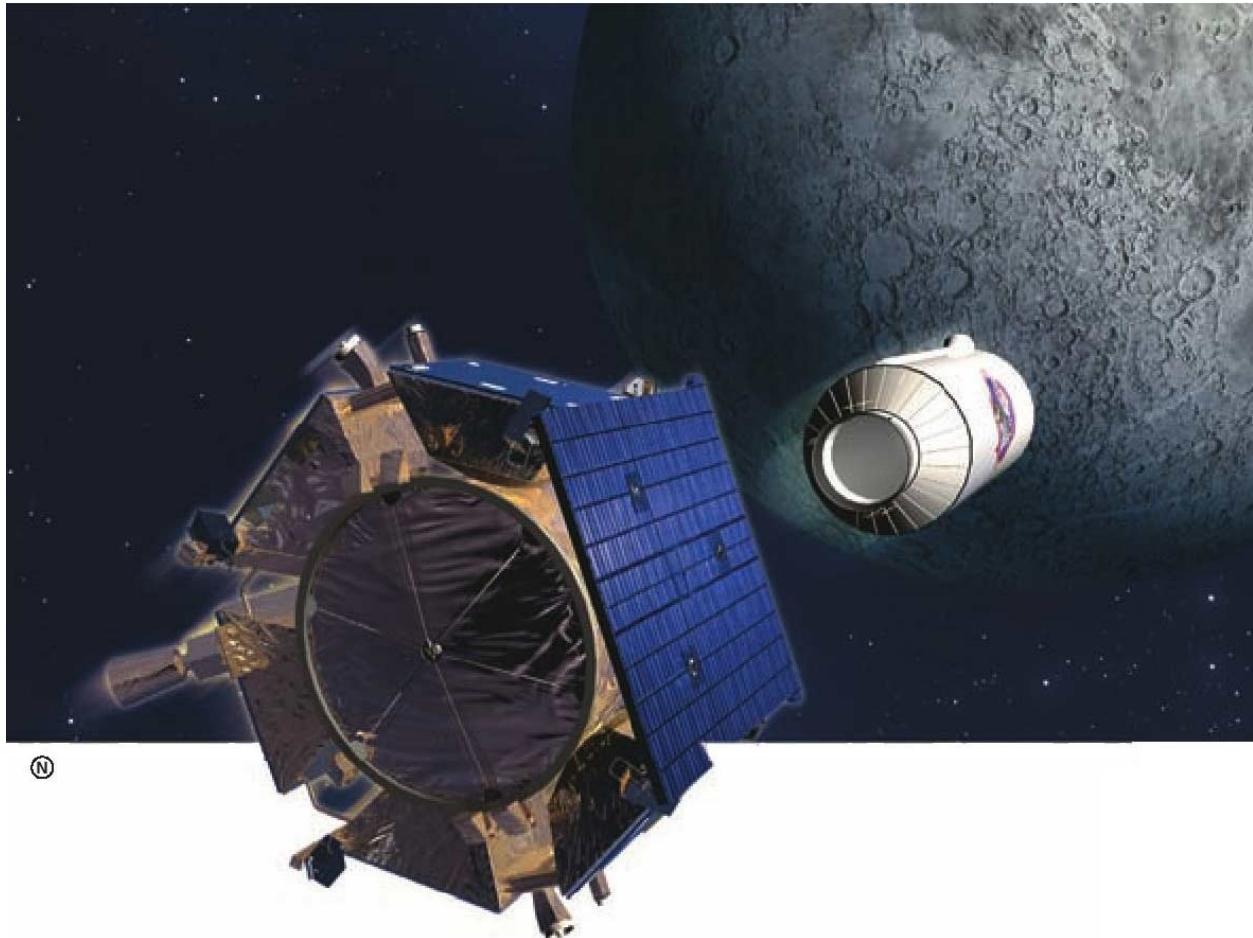
1998年，美国“月球勘探者”探测器专门携带了中子谱仪，来测量宇宙线轰击月球表面所产生的中子的能量。如果这些中子在飞向探测器的过程中与月球土壤上层的氢原子发生碰撞的话，它们的速度就会大为降低。通过测量快中子和慢中子的比例，它令人信服地证明月球的两极地区富含氢原子，而这些氢原子极有可能来自混合在月球土壤中的冰。

近年来，月球迎来了新一轮的探测热潮。美国“月球勘测轨道飞行器”发现月球极地环形山永久阴影区的温度仅有-240°C。这一温度不仅可以储存水冰或者氢达数十亿年，还使得这些永久阴影区成为太阳系中最寒冷的地方。它还在月球南极附近的环形山中探测到了水的信号，且信号比预期的要强。

此后，印度“月船1号”探测器上的“月球矿物探测器”也在月球上发现了水分子。虽然这些水仅仅存在于月球表面最上层的1~2毫米之中，但它的分布却十分广泛，且月面纬度越高，水分子的信号越强。同时，这些信号的强弱还会随着昼夜周期性地变化。

月球两极环形山永久阴影区中是否存在水冰的决定性证据，来自美国

主动撞击月球的“月球环形山观测和传感卫星”。它由两部分组成。其中占据绝大部分的是“宇宙神”5型火箭的二级火箭“半人马座”，另一部分则是“牧羊人”探测器。



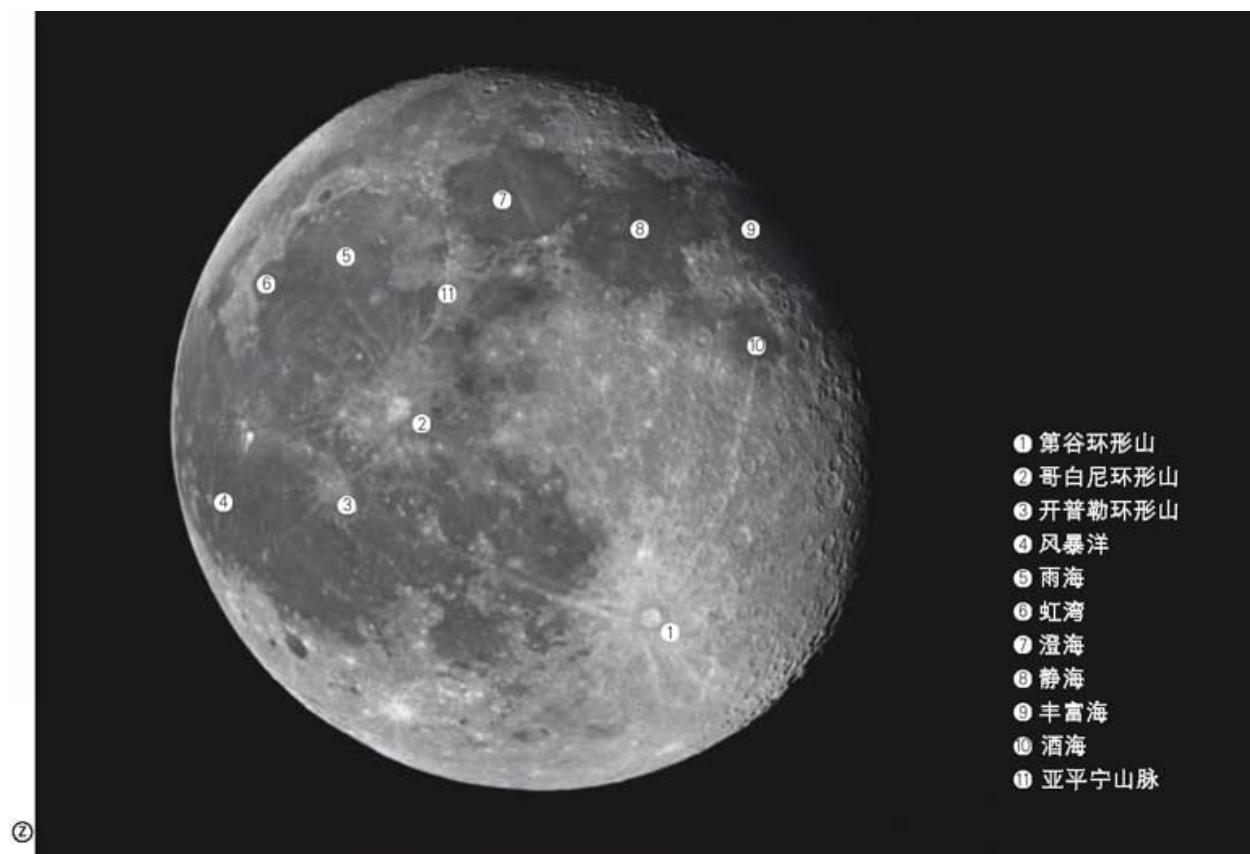
“牧羊人”探测器（左）和正撞向月球南极地区的“半人马座”火箭

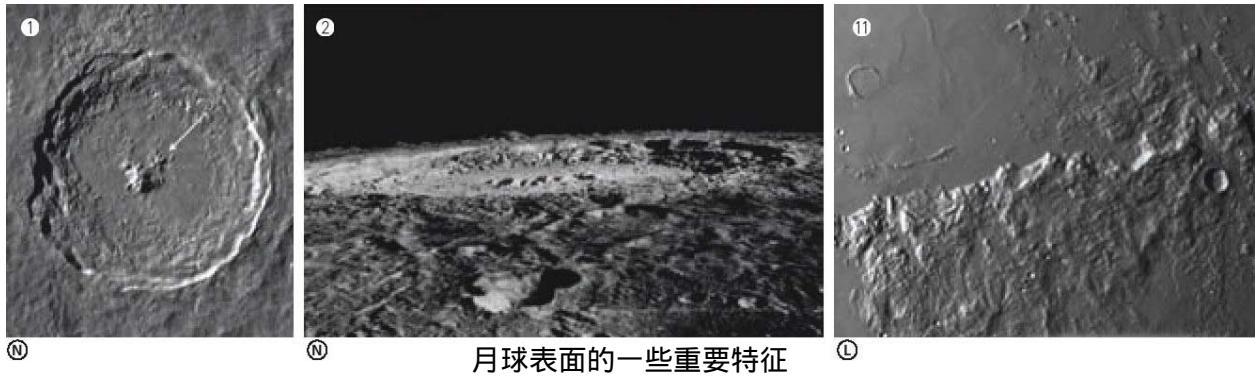
2009年10月9日，“半人马座”火箭以超过2.4千米/秒的速度撞上了月球南极的卡比奥环形山。“牧羊人”探测器对此进行了大约4分钟的观测。当原子和分子被激发的时候，它们就会释放出特定波长的辐射，这些辐射能被分光计探测到。“牧羊人”上的近红外、可见光和紫外分光计对撞击抛射物进行了探测。红外分光计探测到了水的信号，紫外分光计则探测到了氢氧根。这次探测共发现了95升水。这一数字仅仅是环形山中总储水量的下限，进一步的分析表明那里还有更多的水冰。（谢懿）

为什么月球表面像个麻子脸

用业余的望远镜看一看月球，也能发现月球表面坑坑洼洼，像一个“麻子脸”。这些凹凸不平的地形原来都是大大小小的环形山，它们是月球表面明显的特征。这些环形山多数是由于陨星的撞击形成的。与地球不同，由于月球表面没有大气层，因此陨星能不受任何阻碍地直接撞上月球，而撞出的环形山也不会因风化作用而产生侵蚀。除非有另一颗陨星再次撞击而形成新的环形山，否则原有环形山的形态将长久存在下去。

据统计，仅仅月球正面直径大于1千米的环形山就有约30万个。这些环形山以知名的科学家、艺术家、探险家乃至宇航员的名字来命名，以此纪念他们在各自领域的卓越贡献。月球表面最大的环形山是位于月球南极附近的贝利环形山，其直径达到300千米。





除了环形山，月面还有许多类似地球表面的山脉。其中最为引人注目的便是“亚平宁山脉”。亚平宁山脉位于月球北部，长度约为1000千米，有些山峰的高度达到5500米，比中国青藏高原的平均海拔还要高出1000米。不过，青藏高原是由于地球内部的活动形成的，而月球的内部则没有活动。月球上的山脉很可能和环形山一样，是由于小行星撞击而拱起的。
(汤海明)

【微博士】中国人在月球表面

月球的背面有5座以中国人名命名的环形山，分别是“石申环形山”、“张衡环形山”、“祖冲之环形山”、“郭守敬环形山”和“万户环形山”。石申、张衡、祖冲之和郭守敬都是中国古代的著名天文学家，为后人留下了非常重要的研究成果。万户则是第一位尝试用火箭飞天的中国人。月球正面有一座以“高平子”命名的环形山，这也是唯一一个以近代中国天文学家命名的环形山。

【微问题】月球上发现了水有什么重大意义？

【关键词】永久阴影区 环形山

为什么美国人要登上月球

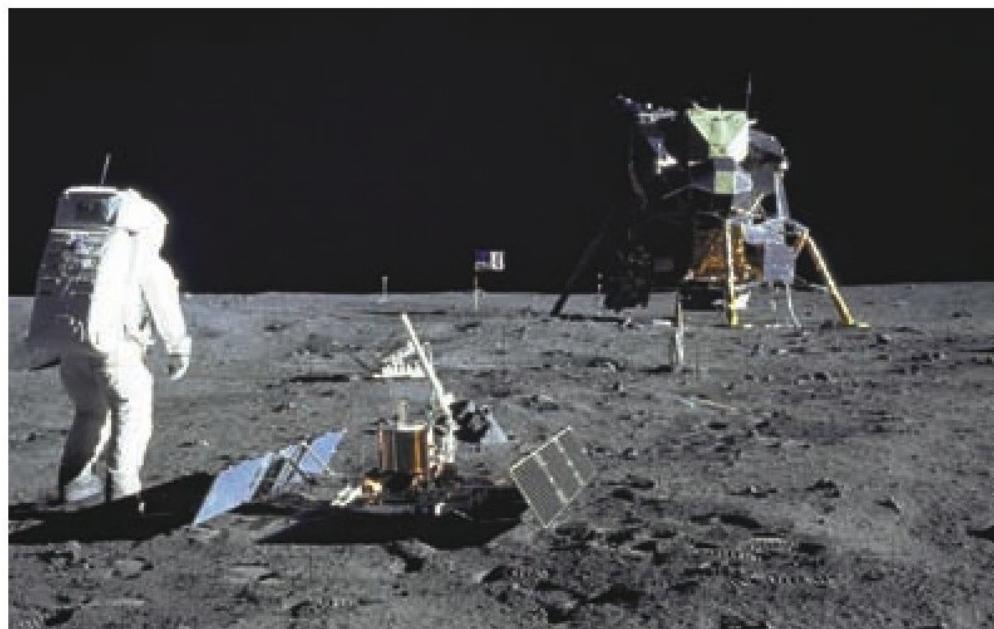
当美国的肯尼迪总统宣布美国人将在20世纪60年代末登上月球之时，人们纷纷表示怀疑。要知道，当时人类才刚刚飞出地球的大气层。直到通过电视画面看到阿姆斯特朗站立在月球表面时，人们才开始相信人类已经有能力去探索地球外遥远的未知世界。

月球是地球唯一的天然卫星。人类自古便希望探索它的奥秘。20世纪60年代初期美国提出了著名的“阿波罗”登月计划。1961年4月12日，苏联人尤里·加加林成为第一个飞入太空的人，这极大地刺激了美国政府的神经。时任美国总统的肯尼迪随即下令大力推进“阿波罗”登月计划，力求通过这一计划促进美国宇航科技领域的发展，从而超越苏联。

在经过多次模拟飞行和绕月飞行后，1969年7月16日“阿波罗11号”飞船成功发射升空，并于4天后的7月20日在月球表面的静海附近着陆。6个多小时后，尼尔·阿姆斯特朗走下舷梯踏上月球表面，并说出了一句盛传已久的名言：“这是个人的一小步，却是人类的一大步。”随后，巴兹·奥尔德林也走出登月舱，踏上月球表面。两位宇航员在月球表面共活动了约2个半小时，采集了21.55千克的月球岩石和土壤样本。7月24日，“阿波罗11号”完成登月任务返回地球。此次任务验证了人类登陆另一星球并成功返回的可能，并为后续的行动积累了丰富的经验。



“阿波罗11号”的宇航员在月球表面活动



“阿波罗11号”的登月舱降落在月球表面



⑩

“阿波罗17号”的宇航员开着月球车

整个“阿波罗”登月计划从1961年开始至1972年底结束，是美国航空航天局迄今为止最庞大的月球探测项目。在此期间，共有7艘飞船飞赴月球，除“阿波罗13号”由于技术故障取消登月直接返回外，均获得成功。先后有12位宇航员踏上月球表面，并进行了一系列科学活动。宇航员们通过多种科学手段对月球表面的物理化学特征进行了实地考察，并带回380多千克的月球岩石供实验室分析研究。中国也曾于1978年获赠1克的月球岩石样本，其中一部分保存在北京天文馆供展出，另一部分交由中国科学家进行科学的研究。

客观地说，“阿波罗”计划的实施推动了美国航天技术领域的极大发展，为了完成将人类送上月球并安全返回这一目标，美国共有2万多家企业、大学及研究机构参与了“阿波罗”计划，产生了数千项科研成果，推动了一大批新材料、新技术的产生。此外，整个“阿波罗”计划对经济的刺激作用也不容小视，它的投入产出比达到1:14。当时的许许多多研究成果在随后的岁月中转化为民用，创造了大量社会财富，使得美国一跃站上世界航天领域的巅峰。（汤海明）

【微博士】第一位登上月球的人

尼尔·阿姆斯特朗（1930——2012），曾经驾驶“双子座8号”宇宙飞船完成了人类历史上第一次飞船轨道对接。由于其间表现优异被选定作为“阿波罗11号”的指令长，承担首次登陆月球的任务，并成为首位登上月球表面的宇航员。而那句“这是个人的一小步，却是人类的一大步”的名言也广为流传。在“阿波罗11号”登月飞行之后，阿姆斯特朗未再参与其他的宇航飞行任务。但作为第一位登上月球的人，他的名字将被永载史册。



为什么“嫦娥”也要奔月

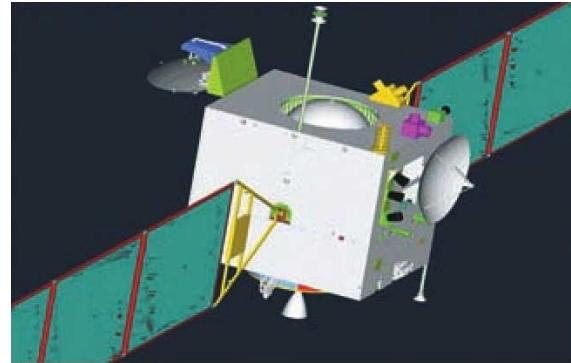
当美国将12名宇航员送抵月球并成功地进行一项项科学的研究的时候，世界上的其他国家也在不断摸索着向月球开展探测行动。随着中国综合国力和科技水平的不断提升，中国也从2003年9月开始了“嫦娥工程”探月计划。

针对中国的特点，“嫦娥工程”将实现“获取月球表面三维影像、分析月球表面有用元素含量和物质类型的分布特点、探测月壤特性、探测地月空间环境”四个科学目标。

为实现这四个目标，嫦娥工程将分“绕、落、回”三步进行。“绕”，就是从地球发射探月卫星，并使其围绕月球运转，使之能够对月球表面进行全球探测。“落”，是指发射月球探测器并在月球表面实现软着陆，释放月球车在月球表面进行局部探测活动。“回”，是指月球探测器在月球表面着陆并完成样本采集后，再从月球起飞并携带样本安全返回地球，使月球样本可以在地球的实验室中进行详细的分析研究。

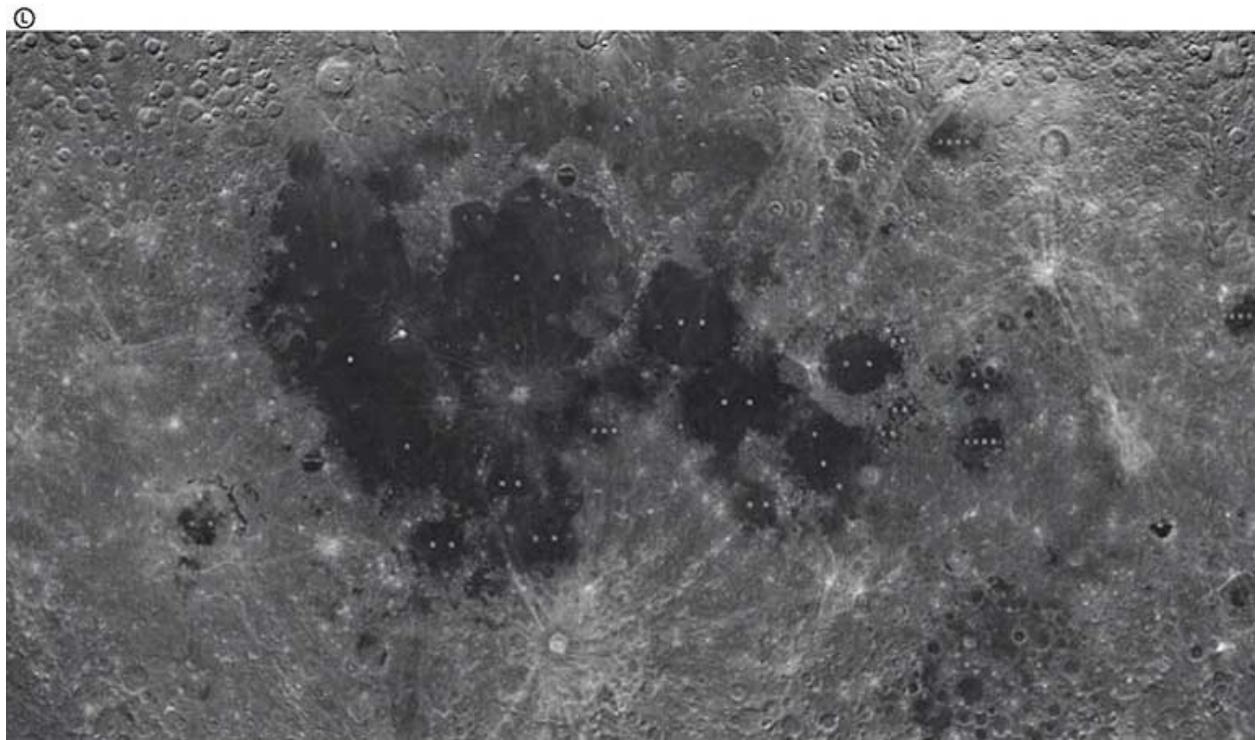
2007年10月24日18时05分04秒，中国首颗探月卫星“嫦娥一号”成功发射。11月5日11时37分，经过首次近月制动，“嫦娥一号”进入环月轨道。11

月26日，中国对外发布第一幅由“嫦娥一号”卫星拍摄的月面图像。这幅图像精度达到120米，所拍摄的位置位于月表东经83°到东经57°，南纬70°到南纬54°，涵盖了宽约280千米，长约460千米的月球表面。在随后的一年多时间中，“嫦娥一号”卫星所搭载的科学仪器对月球进行多方位的科学探测，获取了大量宝贵科学数据。2009年3月1日16时13分10秒，在地面控制中心的控制下，“嫦娥一号”卫星准确撞击月球表面，圆满完成了中国首次探月任务。



中国首个探月卫星“嫦娥一号”

2010年10月1日18时59分57秒，中国第二颗探月卫星“嫦娥二号”成功发射。作为“嫦娥一号”的备份卫星，“嫦娥二号”的发射与“嫦娥一号”不同，“嫦娥二号”在发射后直接进入地月转移轨道，11月6日中午11时38分进入环绕月球轨道。由于“嫦娥二号”更新了探测设备并降低了轨道高度，所以探测精度较前有进一步提高。在完成所有既定探测任务后，2011年6月9日“嫦娥二号”探测卫星飞离月球，向着距离地球150万千米处的地球和月球引力的平衡点（称为拉格朗日点L2）飞去，并于8月25日23时24分抵达L2点，开展进一步的深空探测，为未来中国探测更遥远的天体积累研究数据。（汤海明）



根据“嫦娥一号”卫星拍摄的大量照片绘制的中国第一幅月面全图

【微问题】中国的探月计划包括哪些科学目标？

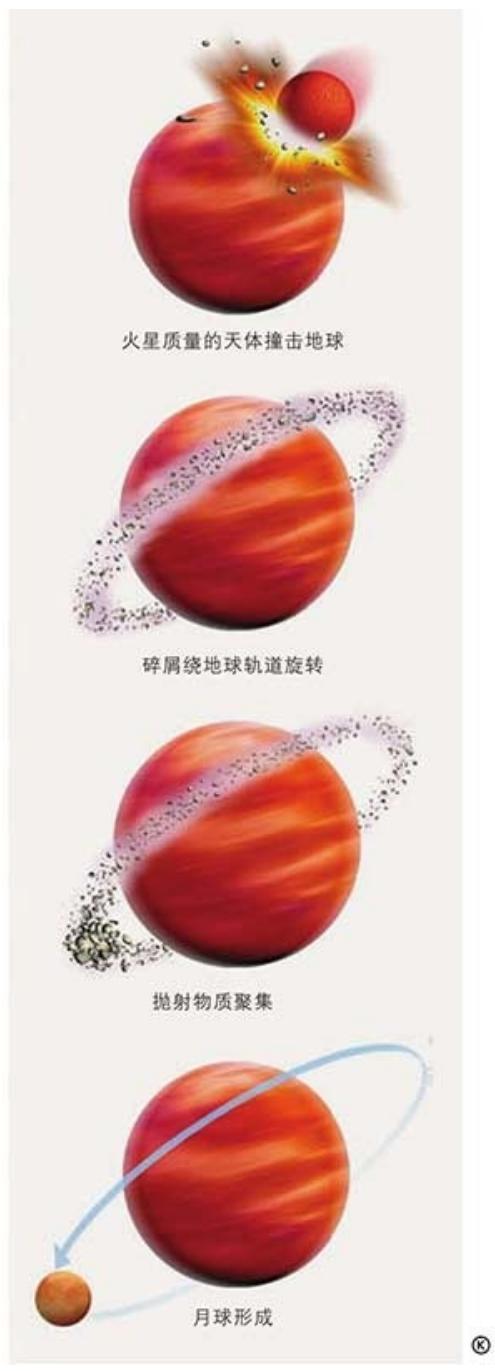
【关键词】阿波罗计划 嫦娥工程

为什么地球会有月球作伴

月球是地球的天然卫星，距离地球约38万千米，质量约为地球的1/80。为什么地球会有月球作伴呢？这得从月球的形成原因说起。

最早的月球形成理论是地球分裂假说，该假说认为：月球是由于地球快速自转被抛出去的，然后形成了现在的地月系；其后科学家又提出了地球俘获理论，认为月球在太阳系的其他地方形成，后来月球运动到地球附近，被地球“俘获”，才开始围绕地球运动；还有人认为地球和月球是同一时期形成的，这称为共同形成理论。但这三种假说都不够完善。目前最流行、被多数天文学家接受的是大碰撞理论。它综合了上述三种假说的优点，这一假说认为：在太阳系早期，原始地球刚形成的时候，有一个火星质量大小的天体撞上了地球。剧烈的碰撞使地轴倾斜，碰撞产生的热量把该天体的壳层和幔层熔化、蒸发，并携带一些小碎片、尘埃飞离地球。这些碎片在环绕地球的轨道上运动，在引力作用下慢慢聚集，最终形成现在的月球。而外来天体的金属核则被蒸发的气体减速，很快落到地球表面上，与地球合为一体。大碰撞理论得到了化学、地质学等方面证据的支持，现在看来是最具说服力的月球形成理论。

随着科技进步，人们对月球的认识会愈来愈完善，月球起源图景的细节最终也将会被彻底揭开。（刘慧根）



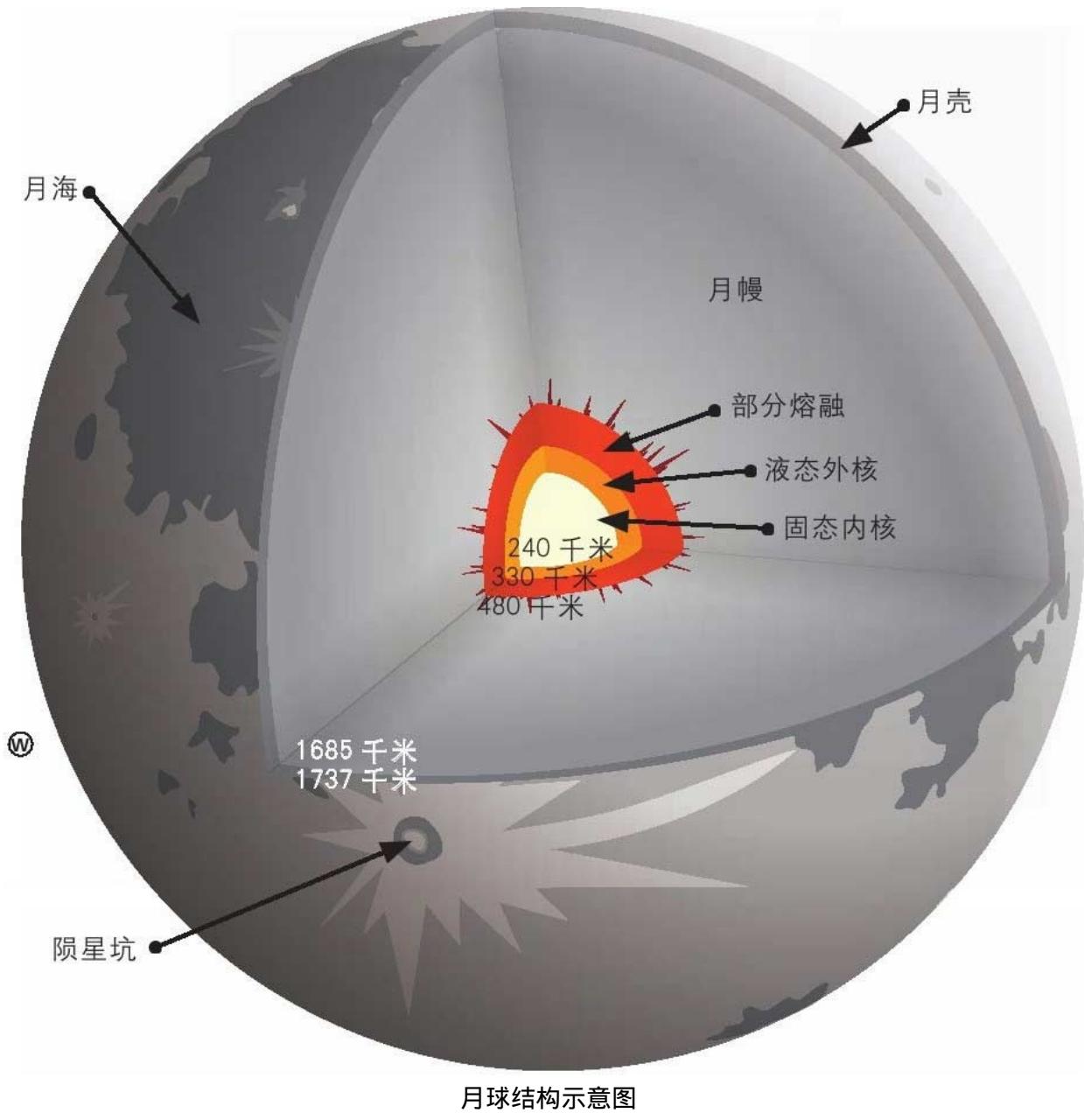
月球形成的“大碰撞”理论示意图

为什么月球物质比地球物质“轻”

月球质量只有地球的 $1/80$ ，可是月球的半径约为地球的 $1/4$ 。因此月球

的密度（约3.3克/厘米³）小于地球的密度（约5.6克/厘米³），或者说月球的物质比地球“轻”。为什么月球物质要轻一些呢？这主要取决于地球和月球内部结构的不同。

月球从外到内大概分为三个区域，从月面向内60~65千米是月壳，主要是氧、硅、镁、铁、钙和铝，但是重要的微量和痕量元素，如钛、钾和氢等也都存在。再向内离月球中心约1600~500千米的范围属于月幔，主要组成矿物是橄榄石、直辉石类和斜辉石类，并且比地球含有更多的铁元素。最中心直径约300~500千米的范围是月核。月核又分为内核和外核：内核是一个固态、含铁丰富的球体，直径约240千米，在内核之外还有个主要成分为铁的液态外核。



月球的核心不到月球大小的1%，而其他大多数类地型天体几乎都占到10%。从下表可以看到：月壳、月幔的密度分别与地壳、地幔类似，但是铁核的密度比地球小，而且铁核所占的体积比例也低，因此和地球相比，月球的平均密度较小。（刘慧根）

地月密度和体积的比较

		壳层	幔层	核心
地 球	平均密度 (克 / 厘米 ³)	2.8	3.4~4.7	9~15.5
	所占体积	约 0.26%	约 85%	约 15%
月 球	平均密度 (克 / 厘米 ³)	2.6~3.1	3.2~3.3	4.7~8
	所占体积	约 10%	约 90%	0.035%~0.3%

为什么月球上有那么多“海”

每当月圆的夜晚，我们抬头看那一轮满月，总是会发现“银盘”并非是纯色的，局部地区会呈大面积的暗斑。人们曾经想象，那是一大片浩瀚的“海洋”，天文学家便称之为“月海”。直到用高性能的天文望远镜重新审视那一大片深灰色的地帶，才发现那实际上只是大片荒漠般的平原，看起来没有什么起伏，和地面的海洋类似。月海总面积约占全月面的25%，已确定的月海有22个，其中向着地球一面的有19个，包括雨海、静海、澄海、丰富海、云海等。月球背面还有一片区域被称为“莫斯科海”，这是从苏联发射的无人探测器“月球3号”传回的月球背面照片发现的。最大的月海是风暴洋，面积约500万平方千米，比半个中国还要大些。除了“月海”外，月球表面还有一些平原被称为“月湖”、“月沼”和“月湾”等。从本质上来说，它们其实与“月海”并无差别。

(N)



画出高分辨率月球表面重力地图的月球重力探测卫星

这些月海是怎样形成的呢？原来，月球经常会被彗星、小行星等小天体撞击，如果撞击的小天体不大，就只把月球表面撞得坑坑洼洼，高低不平；如果有较大的天体撞击，则会引起月球内岩浆的大量喷发，这些岩浆覆盖了撞击后留下的凹地，熔岩冷却后，就形成了月面上大面积的“月海”。

月球上的月海是一个巨大的钛铁矿储存库，随着科技的发展，人类应该能够合理地利用月球上这些丰富的矿产资源。（刘慧根）

【微博士】别具一格的月球岩石

月球上的岩石和地球上的岩石有很多不同点，比如：月球岩石的年龄比地球上大部分岩石大；含有大量的地球上的稀有金属——钛；月面岩石样本中还含有纯铁颗粒等。研究月球岩石有助于了解月球的起源、月球的内部结构，以及月球上的地质演化过程。因此，研究月球岩石样本是认识月球的重要途径。

【微问题】地球的内部结构是怎样的？

【关键词】月海 月陆 月岩



“阿波罗15号”带回地球的月岩

为什么会有日食和月食

太阳、地球和月球的结合非常美妙，给我们带来了日食、月食这样壮美的天文现象。古时候，当日食或者月食发生的时候，人们会恐慌或迷茫，认为它们会带来灾祸。后来人们了解到，日食和月食都是有规律的天文现象。

当月球运行到地球与太阳之间时，会遮挡住太阳，形成阴影。阴影可分为本影、伪本影和半影。在本影区，太阳被完全遮挡，看到的就是日全食；在半影区，太阳光只被部分遮挡，看到的就是日偏食；而在伪本影区，太阳的中心被遮挡，但从太阳边缘射来的光未被遮挡，所以看到的是日环食。日食发生时，月球的影子会在地球表面划过一条日食带，在这条日食带内的人们就能在不同时间内欣赏到日食。



日偏食全过程，2012年5月21日摄于上海交大

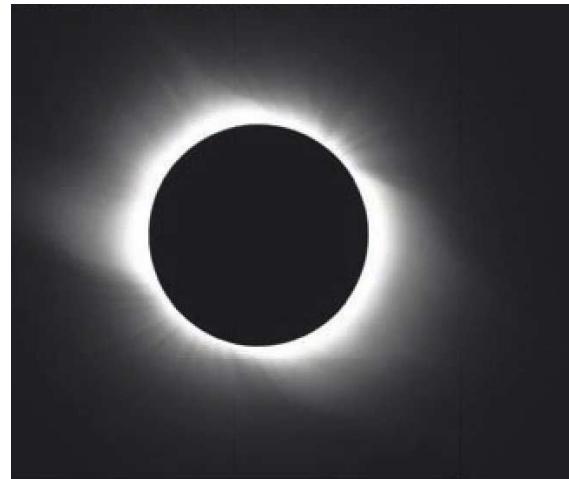
还有一种非常特殊的日食现象，即日全环食。这种日食发生的时候，在日食带中的某些区域可以看到日全食，而某些区域的人们看到的是日环食。中国是世界上最早对日食进行观测和记录的国家之一，最早的日食记录距今已有4000多年。

相似地，当地球运行到月球和太阳之间的时候，月球进入了地球的影子，就发生月食现象。月食分为月偏食、月全食以及半影月食。由于地球的投影比月球的角直径要大很多，因此没有月环食。最美丽的月食现象当属月全食，月全食是月球完全进入地球本影而造成的现象。月全食时，整个月球呈现出古铜

色。在星空的映衬下显得尤为漂亮。月全食发生前后也都会经历月偏食过程。月偏食是月球部分进入地球本影区域时发生的现象。半影月食发生的时候，月球表面亮度变化不大，不易被人们所察觉。

尽管日食、月食每年发生的情况不尽相同，但经过长期的观测、记录和计算，人们还是总结出了日食、月食的规律。2000多年前的巴比伦人就发现了“沙罗周期”，约为6585.32天，即18年零11天左右。“沙罗”是拉丁文“重复”的意思，因为每过一个沙罗周期，月球就会再次回到与地球和太阳的相对位置相同的同一点。也就是说，如果在某一时刻发生了日食或月食，那么经过一个沙罗周期，又会再次发生日食或月食。但由于沙罗周期有0.32天的“零头”，因此如果一个地方发生日食或月食，要经过三个沙罗周期，也就是约54年后的同一时刻，日月食才会在此地再次发生。沙罗周期实际上是月球运行的三种周期：朔望月（月相盈亏的周期）、交点月（月球回到其公转轨道平面与黄道平面交点的周期）、近点月（月球回到近地点的周期）的公倍数。在中国汉代的《太初历》中也发现了一个日食、月食周期，称为“三统历周期”，为3986.62965日，这与146.5个交点月大致相等。如今，科学家可以更详细地计算出何时何地可以看到何种日食或者月食现象。这个时间甚至比我们用的手表还要准确呢。

（汤海明）



② 2008年8月1日新疆地区日全食食甚时的照片

为什么日食比月食罕见

在全世界范围内，每年会发生2次到5次日食。上一个有5次日食的年份是1935年，而下一个发生5次日食的年份是2206年。相比日食，月食发生的

频率其实要低。平均每年会发生2次月食，有时候甚至一次也不发生。

那么，既然日食每年发生的次数这么多，为什么我们会觉得日食更加罕见呢？

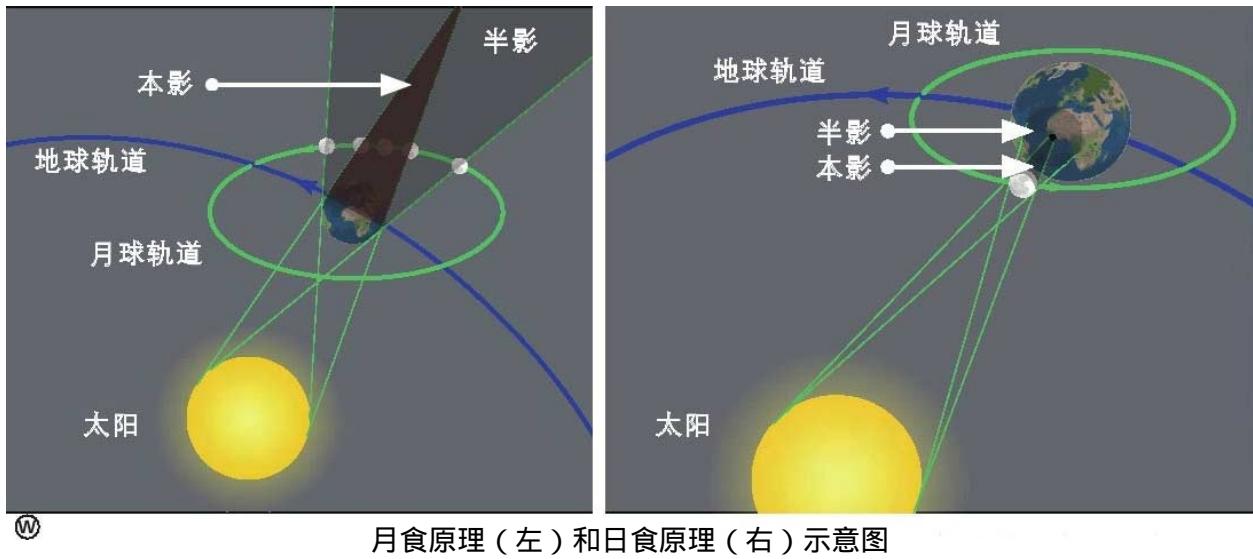
这是由于日食是月球的阴影落在地球上产生的，能看到日食的范围只在月球的阴影掠过的区域，所以非常有限，特别是日环食和日全食的范围更加有限，而即便包含了偏食区域，在地球上可见的范围仍比较小。因此，对于人们来说，看到日食的机会并不是很多。地球上某一具体地点平均要三四百年才能看到一次日全食或者日环食。月食尽管发生的机会要少，但由于月食是地球的阴影落在月球上造成的，所以只要能看到月球的地方就可以看到月食现象。在地球上，可看到月食的范围非常大，同一地点看到月食的机会也就更多。

日食和月食是大自然奉献给人类的奇景，当我们遇到这种现象的时候，千万要把握住观赏的好机会。特别在日全食时，由于月球的表面凹凸不平，会在挡住大部分太阳光的同时，在边缘漏出一些光，形成“倍利珠”、“钻石环”这样壮观的奇景，真让人惊叹不已！（汤海明）

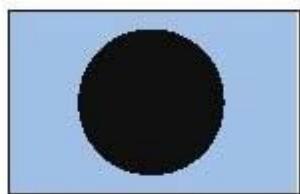
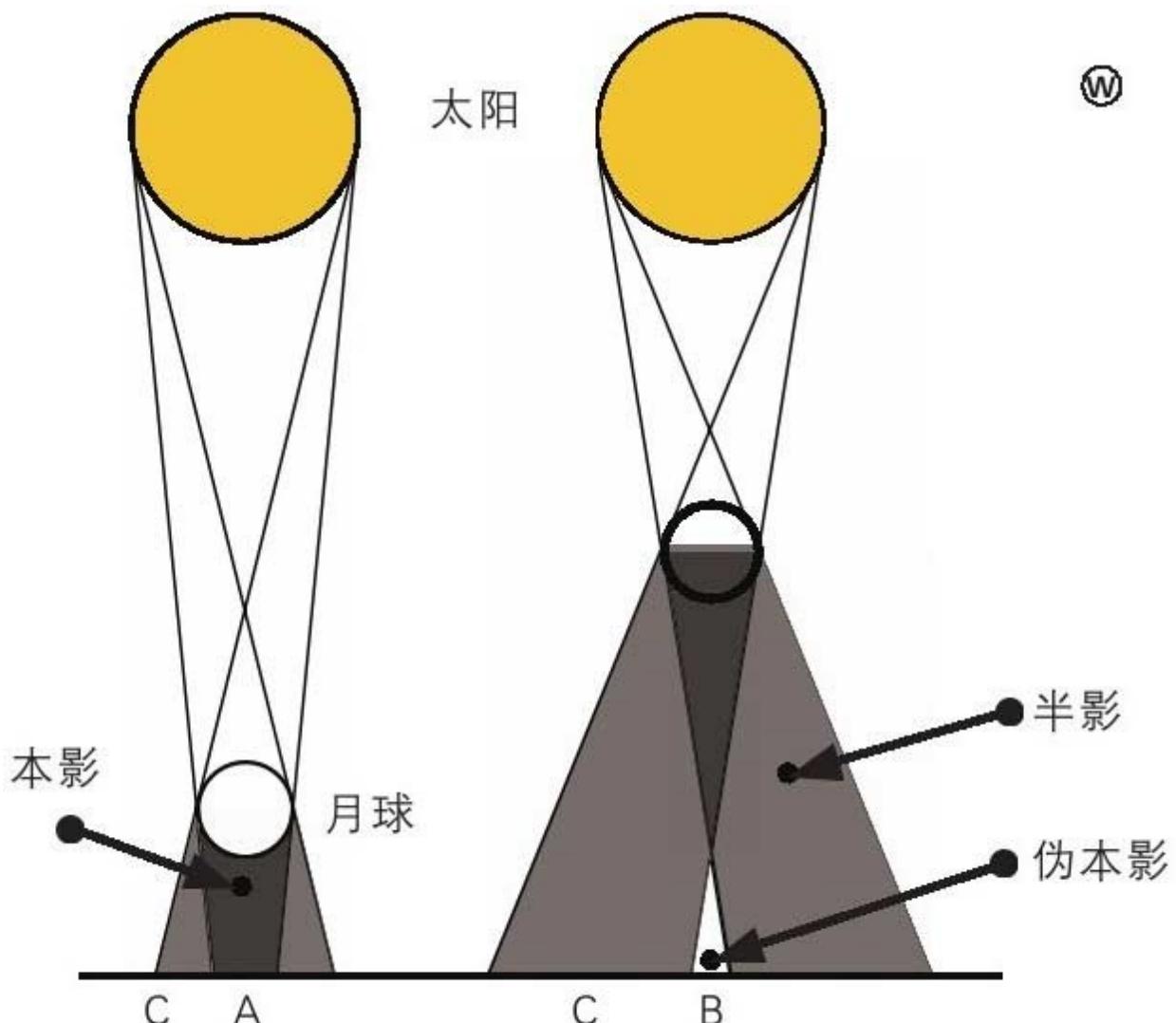
为什么太阳和月亮看起来差不多一样大

太阳和月亮看起来差不多一样大，只是一种巧合。实际上太阳是巨大的恒星，而月球只是地球的卫星，太阳直径是月球直径的400倍，大小差别很大。但碰巧的是，太阳到地球的距离恰好也是月球到地球距离的400倍。于是在地球上看起来，天上的太阳（通常也称为日轮）就和月亮（月轮）差不多一般大小。说“差不多”，是因为地球绕日公转的轨道和月球绕地公转的轨道都是椭圆，在一个公转周期中，日地距离和月地距离长短各有一些变化，影响到日轮和月轮的大小也略有不同。这一点，在发生日食的时候显示得最清楚。日全食的时候，黑色的月亮完全挡住了太阳，天空骤然

变黑，星辰出现，说明月轮略大于日轮；日环食的时候，黑色的月亮只挡住了太阳中间的大部分，露出细细窄窄的一圈外缘，天空依然明亮，不会看到星辰，说明月轮略小于日轮。



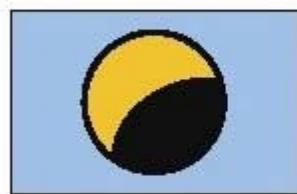
由于地球和月球之间存在着潮汐摩擦，使得月球在渐渐远离。所以，只有在最近若干亿年内，在地球上看起来太阳和月亮才一样大，我们才能看到美丽的日环食。在若干亿年前，月球离地球比现在近，月轮总比日轮大，所以不会有日环食，而若干亿年后，月球离地球比现在远，月轮总比日轮小，则不会有日全食了。（苏宜）



A. 日全食



B. 日环食



C. 日偏食

不同区域看到的日食

【微博士】为什么月全食时月球不是完全黑的

这是因为月全食发生之时，虽然月球完全进入地球的本影之中，太阳光无法直接照射到月球表面，但由于地球大气层的折射作用，波长较长的红色光线会通过大气折射照射到月球上，因此月球会呈现漂亮的古铜色。这便是月全食最美丽的阶段。

【微问题】在月球上可以看到怎样的“食”？

【关键词】日食 月食 日全食 倍利珠



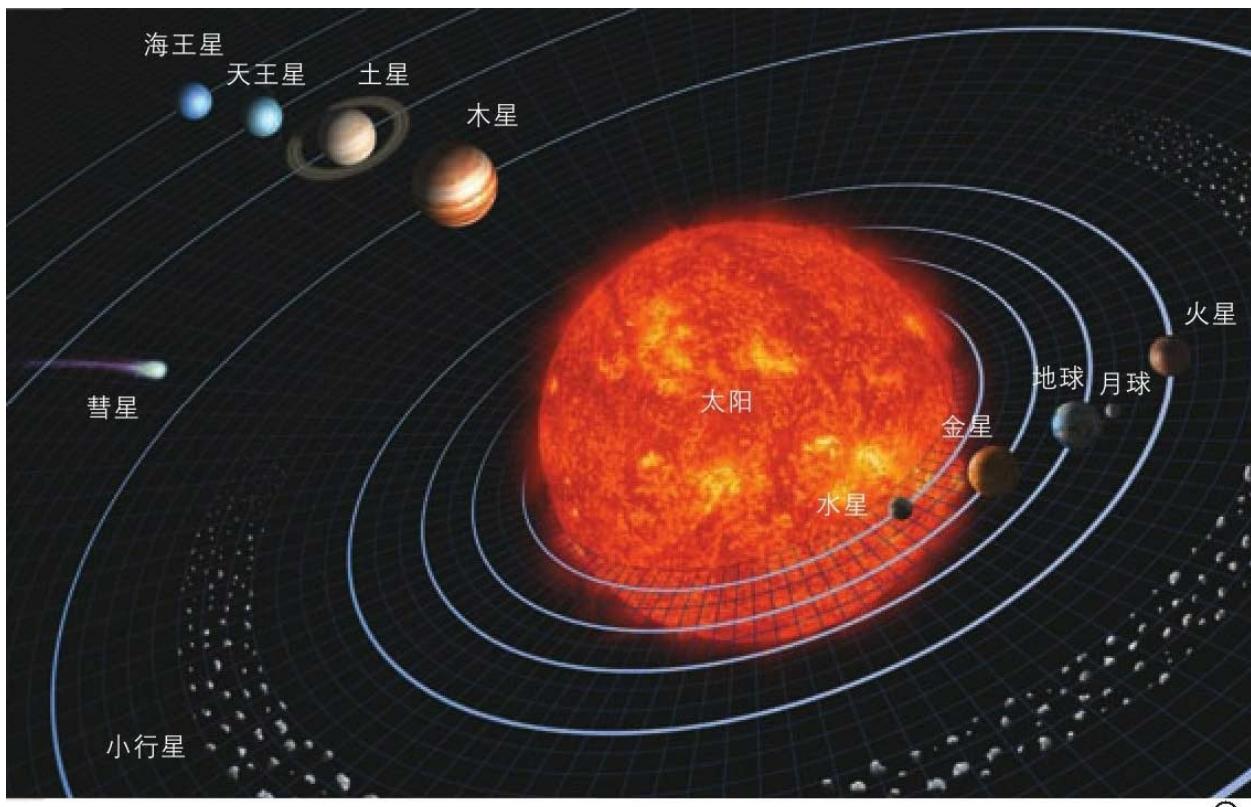
月全食过程

太阳系

太阳系大家庭有哪些主要成员

在太阳系中，除太阳以外，最主要的天体就是行星了，有时人们也称它们为“大行星”。太阳系中已知有8颗行星，依照与太阳的距离由近到远的顺序，分别为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星和海王星。它们都在各自的椭圆轨道上环绕太阳公转。

矮行星的个头儿比行星小，但质量仍然大得足以使自身基本上保持球形。它们也直接环绕太阳公转。因为矮行星在形成的过程中，未能凭借引力扫清自身轨道附近的区域，所以就比行星“矮”了一截。截至2012年7月，已确认的矮行星只有5颗，其中冥王星、谷神星和阋神星都很有名。



太阳系大家庭的主要成员



小行星也像行星和矮行星那样沿着各自的轨道环绕太阳公转。如今正式编号命名的小行星数量已以十万计，它们大多分布在火星轨道和木星轨道之间。但是，小行星太小了，以至于它们的形状往往不规则，同球形差得很远。

卫星是环绕行星、矮行星或小行星转动的天体。8个行星中，只有水星和金星没有卫星。地球有1个卫星，那就是月亮。火星有2个卫星，木星有50个，土星有53个，天王星有27个，海王星有14个卫星。卫星数目最多的矮行星是冥王星，有5颗卫星。小行星本身虽小，但有的也有卫星。例如，长约56千米、宽约22.5千米的243号小行星艾达，就有一颗直径约1.6千米的小卫星。

还有不计其数的彗星，也在太阳引力的作用下沿各自的轨道环绕太阳运动。太阳系外缘的“奥尔特云”中，蕴藏着无数的长周期彗星。海王星轨道外侧的“柯伊伯带”，则是短周期彗星的聚集地。

流星体是太阳系中绕太阳运行的碎小物体。它们闯入地球大气层时，同大气摩擦升温、燃烧发光，造成“流星”现象。成群结队的大量流星体称为“流星群”，它们闯入地球大气层时会形成“流星雨”——许多流星体同时落下来，仿佛在下雨。

太阳系内辽阔的行星际空间中还充斥着稀薄的气体和尘埃物质，它们统称为行星际物质。行星际空间还存在着微弱的磁场，即行星际磁场。

由此可见，太阳系大家庭的成员是何等丰富多彩啊。（卞毓麟）

太阳系是从哪里来的

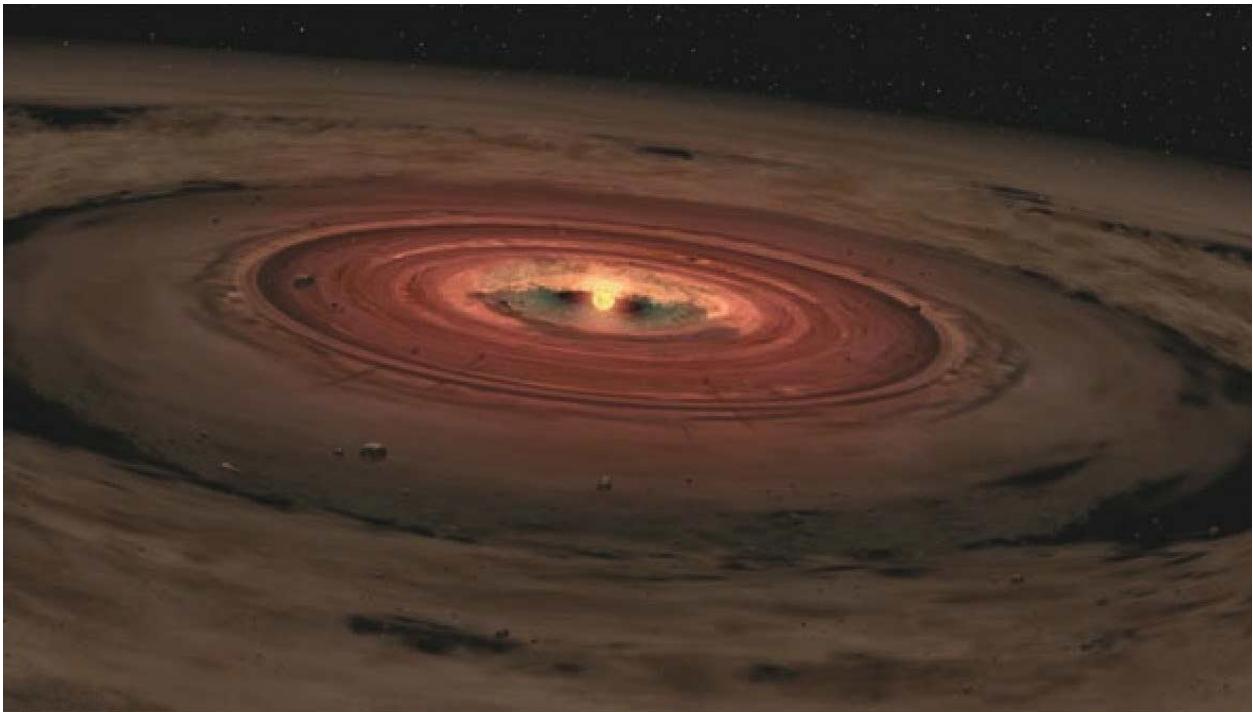
在天文学中，这个问题正式的名称叫作“太阳系的起源”。虽然这个问题很难解答，科学家对太阳系的年龄、行星的化学组成等还是有了比较一致的认识，并且普遍采纳了太阳系起源的“现代星云说”。

在历史上，太阳系起源的第一个“星云说”是德国哲学家康德于1755年提出的，但当时没能引起人们的关注。1796年，法国天文学家拉普拉斯在《宇宙体系论》一书中又提出一种显得更加合理的太阳系起源星云说。后来人们常把这两种学说合称为“康德-拉普拉斯星云说”。



④

原始的“太阳星云”收缩，中心温度升高



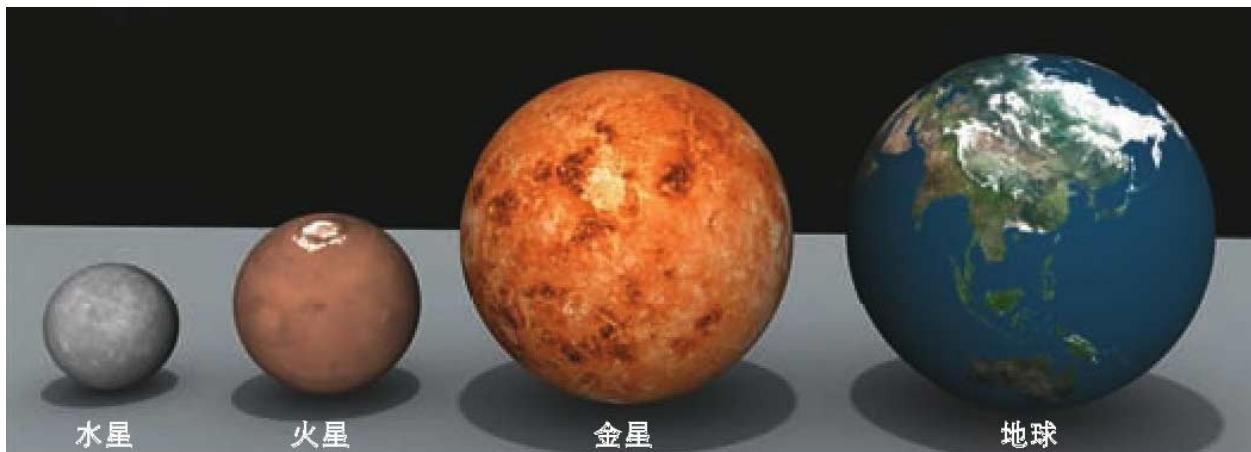
⑤

太阳系形成时的行星盘

现代的太阳系起源学说发展了早期星云说的某些基本论点。它的主要

内容是：（1）大约50亿年前，一团巨大的气体——尘埃云，即“太阳星云”，在自身引力作用下收缩；（2）太阳星云继续收缩，并因自转的离心作用而逐渐变扁，其中央的大团物质日后将变成太阳，外围某些较小的物质团则将成为行星；（3）尘埃颗粒起着凝聚核的作用，物质团块互相碰撞和黏合，逐渐成长为月球那么大小的“星子”；（4）正在形成的太阳产生强烈的“星风”，把星云气体“吹”向远方；（5）星子继续碰撞和成长；（6）经历了上亿年的时间，终于形成在接近圆形的轨道上环绕太阳运转的八大行星。我们这个太阳系的主要部分就这样诞生了。（卞毓麟）

为什么说太阳像是太阳系王国的“国王”



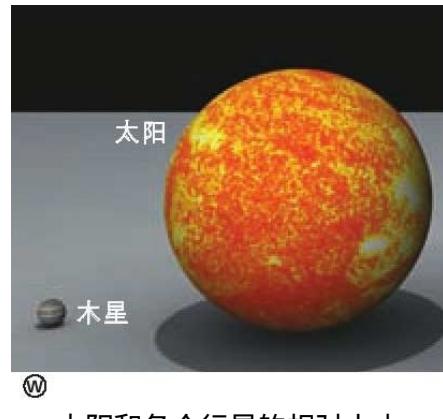
太阳系是以太阳为中心的天体系统。太阳系内的天体品种不少，数量更多。但是，它们在太阳系中的重要性都无法与太阳相比。如果把太阳系比作一个王国，那么，太阳就好比是它的国王，行星、卫星等其他天体都是这个王国的臣民。

为什么这样说呢？这是因为：

首先，太阳所处的位置很显赫，就在太阳系的正中央，所有其他的天体都环绕着太阳运行不息。

同时，太阳是太阳系中最大的天体，它的质量占太阳系总质量的99%以上。正因为如此，太阳强大的引力才能把其他天体牢牢地控制在自己周围，使它们不会四散分离，从而维持了整个太阳系的稳定。

还有，太阳是一颗恒星，是太阳系中唯一自身发光的天体。太阳系中的其他天体自身都不发光，我们能看见它们，都是因为它们反射了太阳光。太阳为太阳系的所有成员提供光和热。地球之所以能成为生命的乐园，也正是因为从太阳那里获得了足够的能量。如果没有太阳，地球上压根儿就不可能出现人类。（卞毓麟）



太阳和各个行星的相对大小

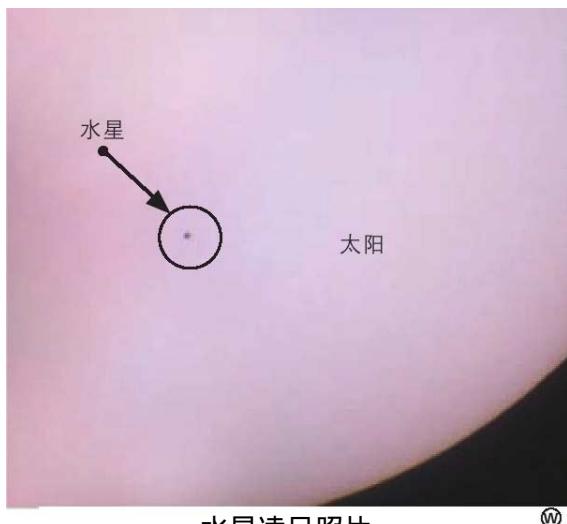
【微博士】太阳系最明显的特征

太阳系最明显的特征是：（1）行星运动的共面性，即八大行星的公转轨道平面全都比较接近于太阳的赤道平面，彼此间相交的角度都不大。（2）行星运动轨道的近圆性，即行星的轨道椭圆都不很扁，而是比较接近正圆。（3）行星运动的同向性，即所有行星的公转方向都相同，而且和太阳的自转方向一致，没有一个是“逆向行驶”的。任何太阳系起源学说，都要能圆满地阐明这些特征。

【微问题】太阳曾有一个“兄弟”么？

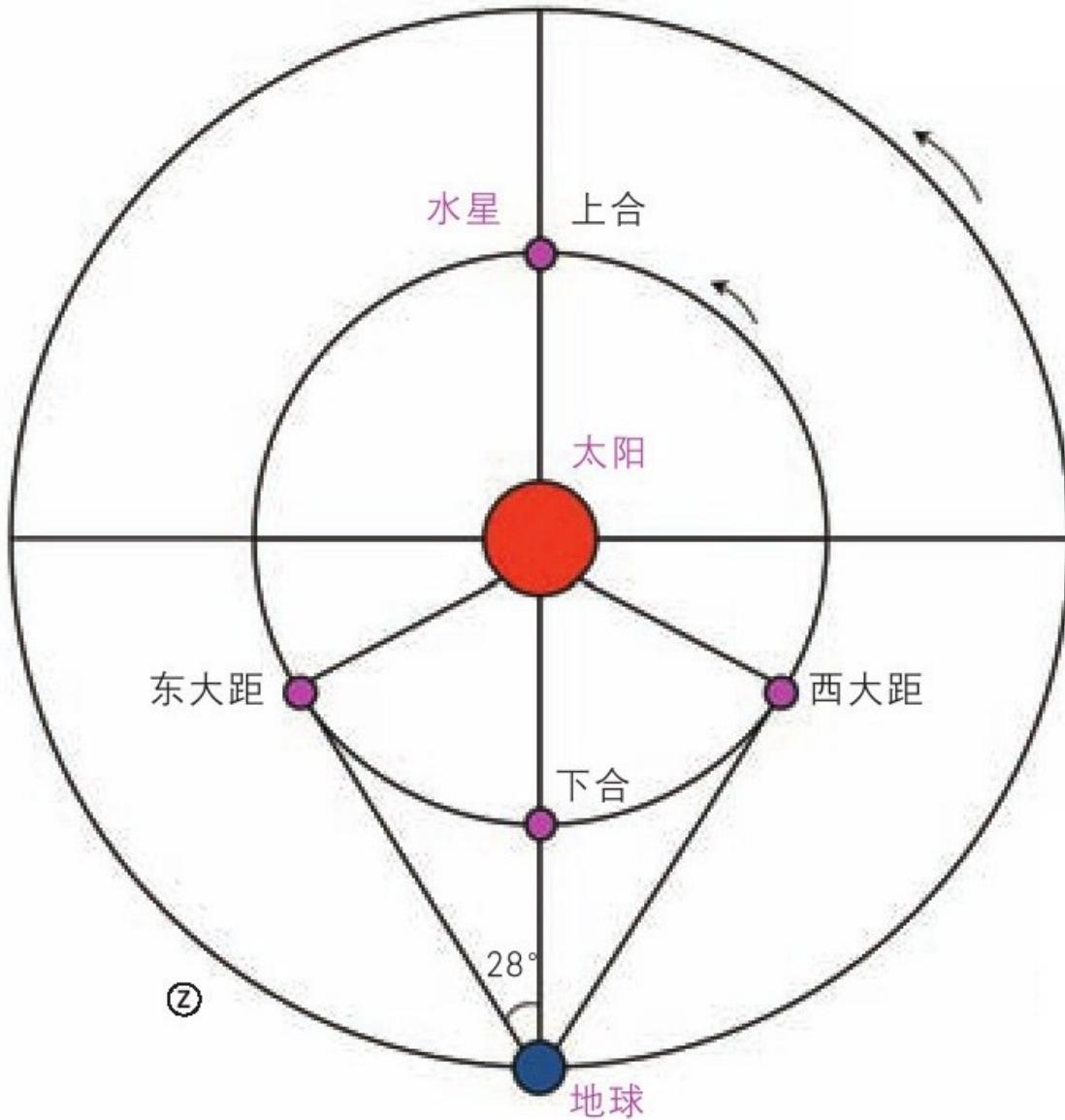
【关键词】太阳系 星云说 行星 矮行星

为什么水星很难见到



水星凌日照片

水星和金星的运行轨道都在地球轨道内侧，所以它们被称作“内行星”。水星是距离太阳最近的一颗行星，同太阳的平均距离只有5790万千米，约0.38天文单位，所以水星同太阳的角距离不会超过 28° ，很容易被淹没在太阳光里。传说，连伟大的天文学家哥白尼都未曾目睹水星尊容。中国古代，有 30° 为一“辰”的说法，因为水星离太阳不超过一“辰”，所以又叫辰星。



水星的“合”和“大距”

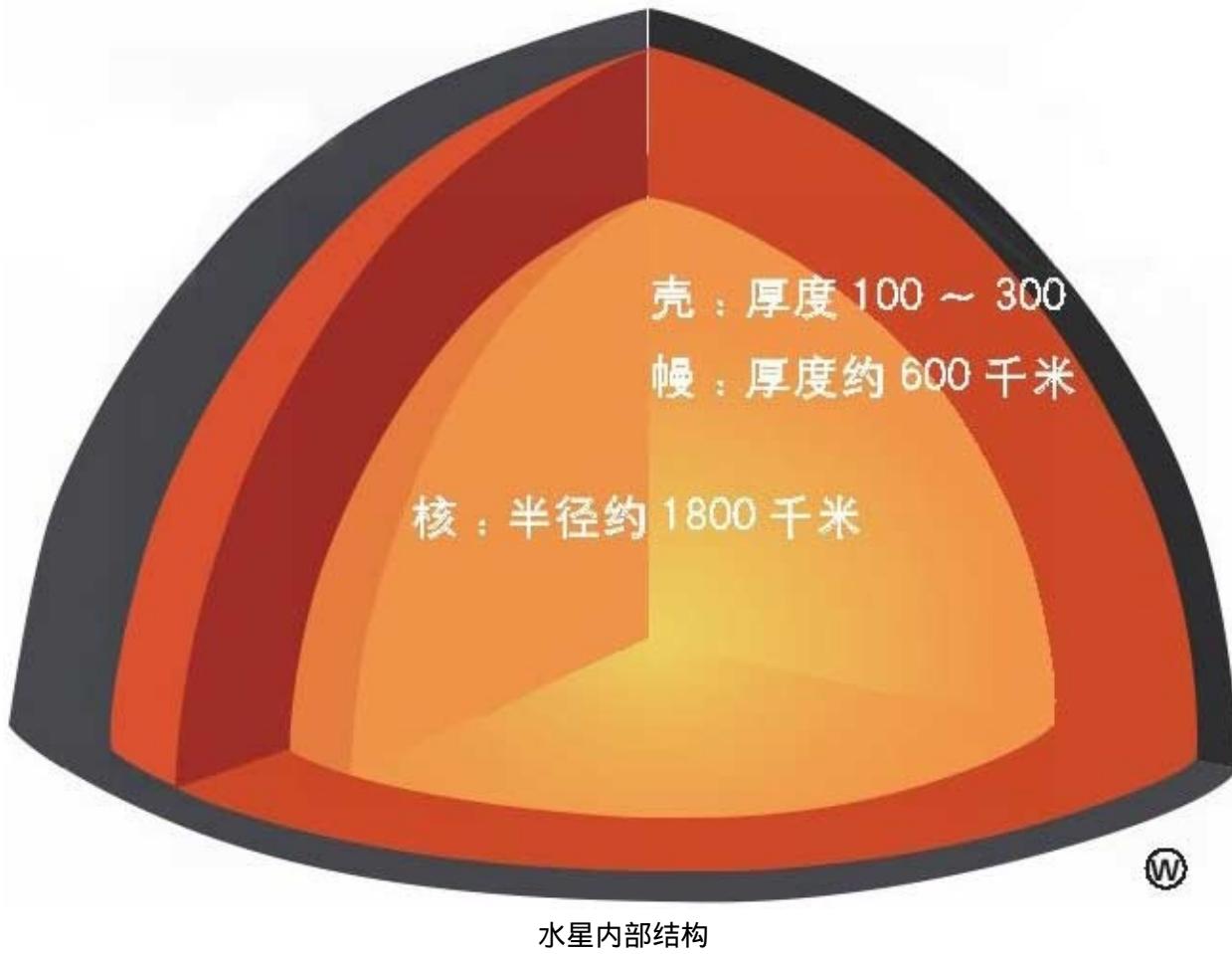
水星与太阳的相对位置可以用黄道坐标系来表示。黄道坐标系是以太阳周年视运动的轨迹为基圈，以春分点为原点构成的坐标系。黄经圈即垂直于黄道的面在天球上的投影。当水星的黄经与太阳黄经相同时，称为“合”或者“合日”。水星与地球分居太阳两侧时称为“上合”，在太阳同侧时叫“下合”。上合后，水星位于太阳东面，日落后出现在西方低空，这时候叫昏星；反之，下合后，水星位于太阳西面，我们就需要在日出前不久

在东方低空寻找，这时候的水星就是晨星。观测水星的最佳时机是“大距”，即水星离太阳角距最大的时候，水星在太阳东面时（昏星）叫东大距，在太阳西面时（晨星）叫西大距。然而即便是在大距时候，也必须要求天气晴朗，找一开阔地，在日落后或日出前约1小时的时间才能看得到，而此时地平高度往往只有十几度，观测难度可想而知。

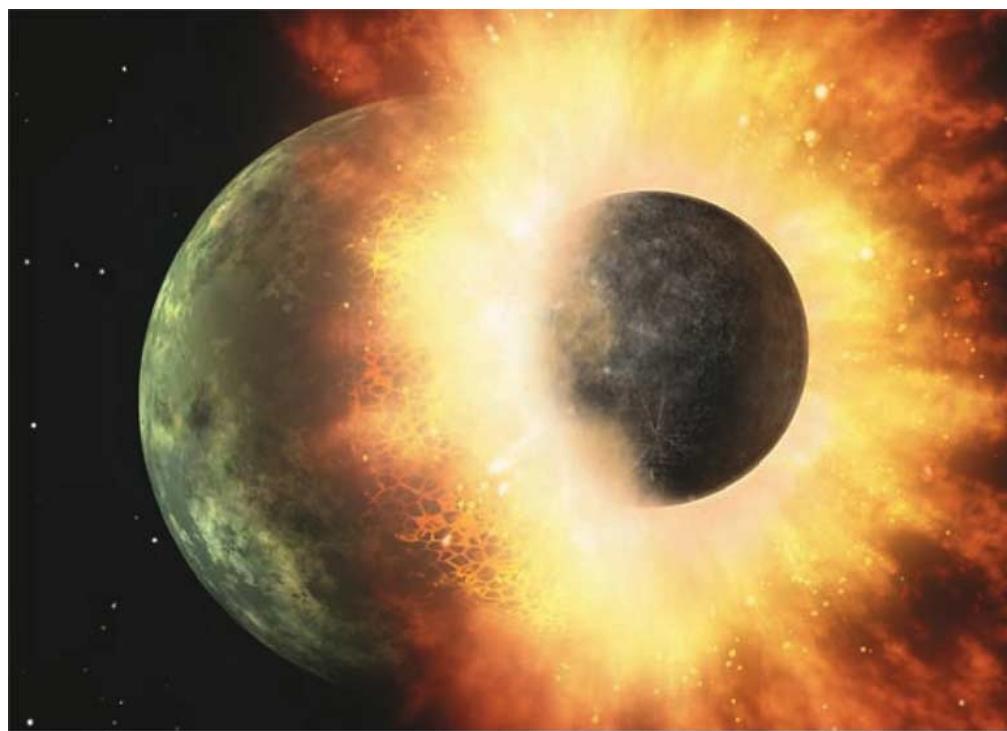
水星距离太阳最近，也是公转周期最短的行星。它绕太阳公转一周只有87.97天（地球日）。而它的自转速度却比较缓慢，周期长达58.65个地球日，相当于公转周期的2/3。也就是说，水星上3天就等于那里的“两年”。也正是这个原因造成水星昼夜温差巨大。漫长的白天遭受太阳的炙烤，在阳光直射处的温度可超过350°C，而黑夜里温度则跌至-170°C。（施麟）

为什么水星这么像月球

由于水星经常淹没在太阳光里，所以长期以来人们对水星知之甚少。1974年3月美国发射的“水手10号”探测器飞临水星，拍摄了5000多张照片，才向我们揭示了这个神秘世界。令人惊奇的是，水星表面布满环形山，犹如“克隆”的月球。除了环形山以外，还有辐射纹、平原、盆地、山脊、裂谷等地形，与月球如出一辙。天文学家相信，由于水星大气稀薄，容易遭受陨星撞击，而且撞击留下的痕迹也不容易被抹去。因此会留下许多陨星坑。现在水星表面已知的最大地貌特征叫卡路里盆地，可能是一颗直径大于100千米的小行星撞击造成的。盆地直径约1550千米，周围是高达2000米的环形山。盆地底部类似月海的平原，是撞击时引发的岩浆溢出而形成的。水星的体积也和其他行星相差较远，而和月球更接近（相当于3个月球）。不过和月球不同的是，水星有一个熔融的核，占到水星体积的42%，相比之下，地球的地核只占地球体积的15%。此外，水星核的铁含量也是太阳系所有行星中最高的。因此有人说，水星更像是一个剥掉了外壳的行星核，而不是一颗完整的行星。

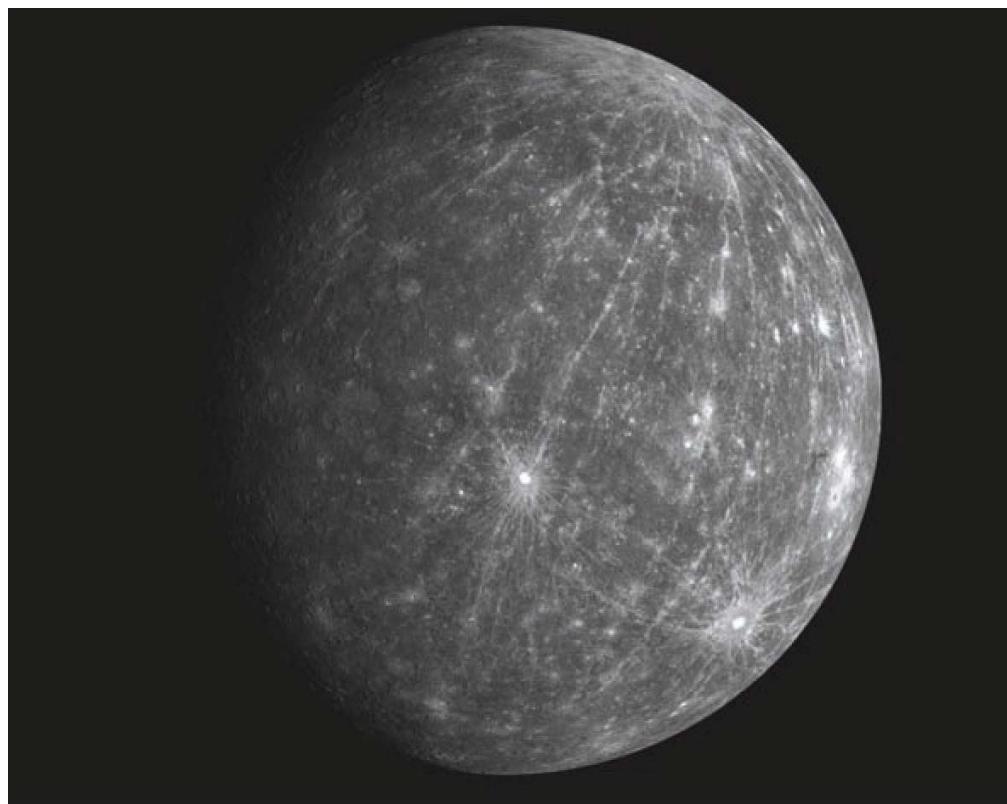


对此，科学家们提出了三种假说。一种假说认为，水星的前身是一颗2.25倍于目前水星质量的石质星球，其铁和硅酸盐的比例类似于球粒陨石。这颗原行星在太阳系形成早期遭到一颗直径为数百千米，质量约为其1/6的小行星撞击。撞击剥去了原有的壳和大部分的幔，留下的核就占了较大的比例。另一种假说认为，在太阳稳定点火之前，水星的前身行星就已经形成了。在太阳点火过程中，这颗质量约为水星两倍的原行星表面被加热到 $2000 \sim 3000^{\circ}\text{C}$ 。这么高的温度把它表面的岩石汽化，随后太阳风把这些气体吹走了。第三种假说认为，水星是在太阳系的原始星云中形成的。在形成过程中，由于水星离太阳很近，形成太阳的星云盘引力又十分巨大。这样，原本可能被水星吸积的一些较轻的元素大部分被吸积进入太阳星云盘，而只有部分重的金属元素被吸引到水星中，于是今天的水星金属元素比例就特别高。



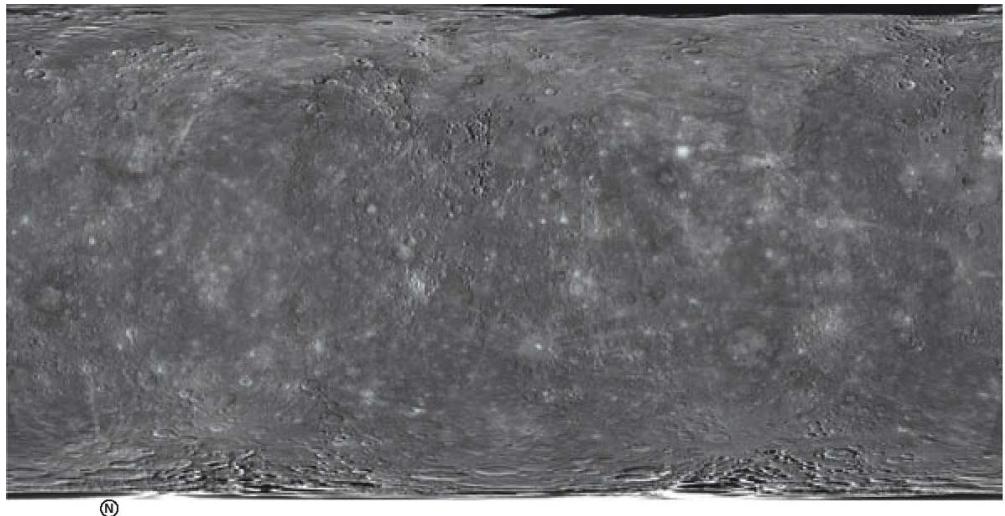
④

小行星撞击早期水星想象图



④

水星表面外貌似月

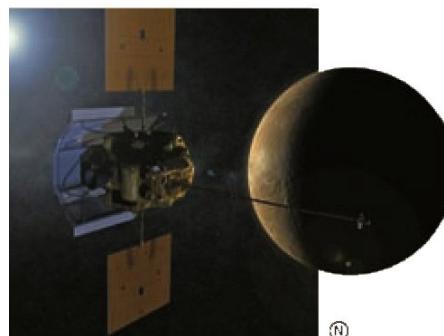


“信使号”探测器拍摄的水星全图

这三种假说哪种正确呢？2004年发射的“信使号”对水星表面的探测发现，水星表面的钾和硫含量都比预测的高。而钾和硫这样的轻元素更容易在撞击或岩石汽化的情况下被抛散，这和前两种假说预测的情况相悖。因此，很有可能第三种假说是正确的。但最终的结论如何，还需要更多的观测证据来确认。（施韡 柴一晟）

【微博士】“信使号”探测器与水星上的水

“信使号”探测器由美国航空航天局于2004年8月3日发射，英文全名是MErcury Surface, Space ENvironment, GEochemistry and Ranging，意思是“水星表面、太空环境、地球化学和广泛探索”；缩写为MESSENGER，与此相应的英语单词意为“信使”。为了节省燃料降低成本，卫星采用了周密而极其复杂的轨道，历时6年半，行程79亿千米，中途飞越地球一次、金星两次、水星三次，才于2011年3月18日进入环绕水星运行的轨道。2012年，“信使号”在水星北极终年照不到阳光的坑洞区域，发现了总量可能高达数千亿吨的水冰。原来，水星上真的有水！

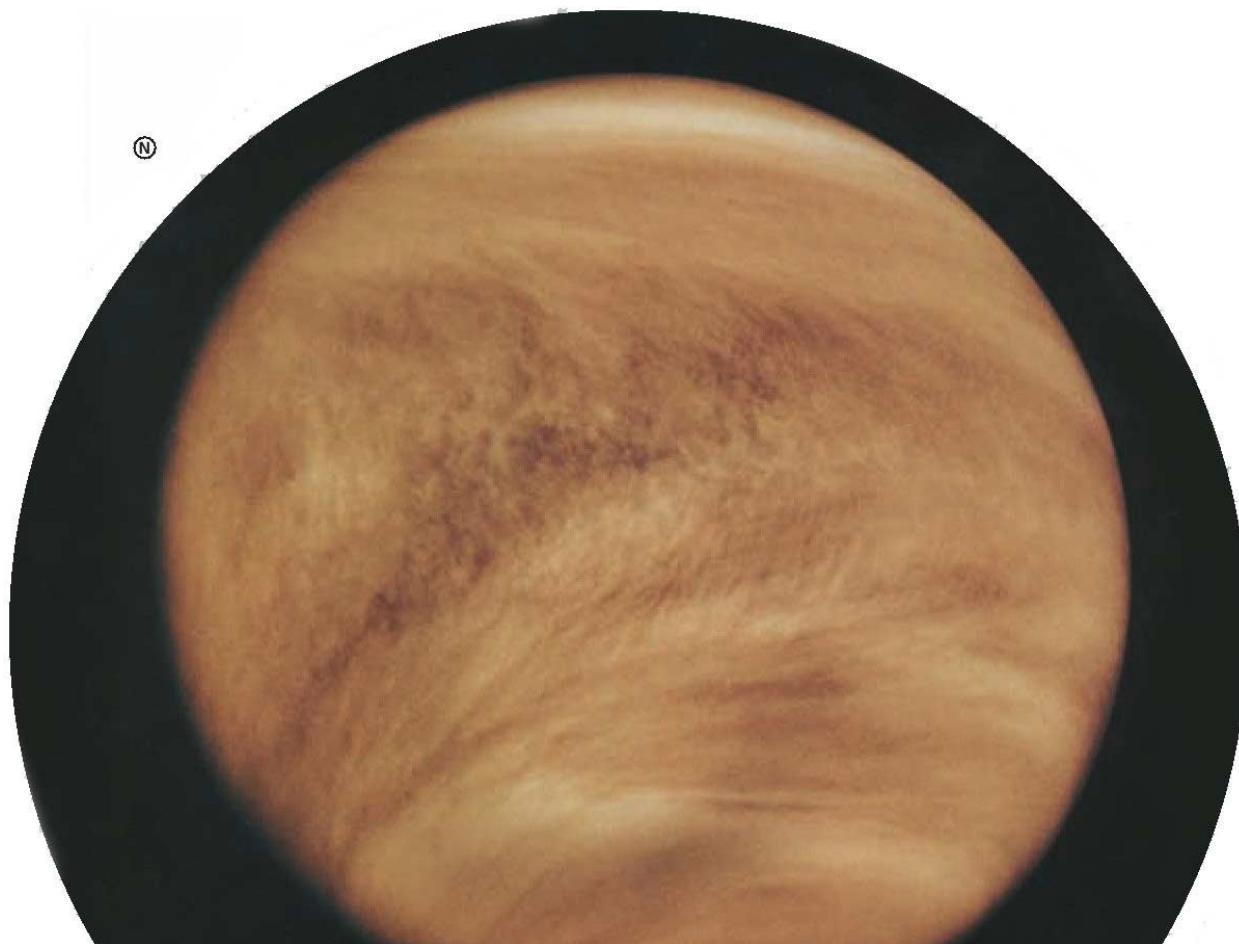


【微问题】水星有没有卫星？

【关键词】辰星 昏星 合日 大距

为什么金星表面那么热

金星有着极为浓密的大气，其主要成分是二氧化碳、氮和少量的二氧化硫、氩、一氧化碳、水汽等。金星大气的质量是地球大气的93倍，其表面的大气压强则约是地球的92倍——相当于地球海平面之下1千米处的压强。



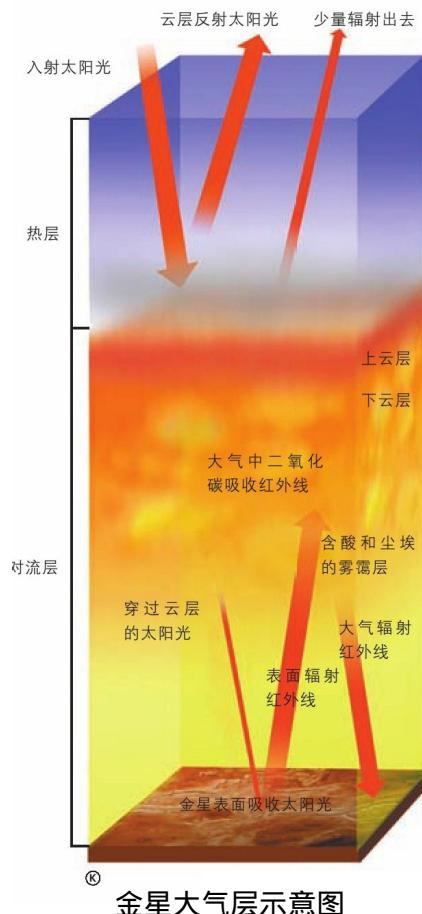
“先驱者号”探测器拍到的金星上的云

金星大气中富含的二氧化碳造就了太阳系中最强的温室效应，使得金星表面的温度超过460°C。虽然金星自转得很慢，但由于其底层大气中风的热传递作用，金星不但昼夜没有温差，就连赤道和两极的温度也是相同的。此外，由于金星的自转轴倾角不足3°（相比之下，地球的自转轴倾角

为 23.5° ），其温度的季节变化也非常之小。

在浓密的二氧化碳对流层之上，是主要由硫酸液滴组成的云层。它们可以把约60%的入射太阳光反射回太空，因此在可见光波段无法直接观测到金星表面。要了解金星表面，只能使用雷达波或探测器。在硫酸云顶部有300~400千米/小时的强风，它们只要4~5天就能环绕金星一周。这么高速的强风在金星云层中形成“V”字形的结构，可以在紫外波段看到。

在几十亿年前，金星大气和现在的地球大气极为相似，其表面也充满了大量的液态水。但液态水蒸发形成的水蒸气是一种强效的温室气体，使得金星表面温度上升。上升的温度又蒸发了更多的水蒸气，最终引发了极强的温室效应，造成了能熔化铅、锡的地狱般的高温环境。虽然金星的表面环境已经不再适宜任何类似于地球上的生命，但仍有科学家指出在金星云层中有可能存在微生物。
(谢懿)



⑤ 金星大气层示意图

为什么金星上的太阳从西边升起

如果你从太阳的北极上方向下看去，太阳系中的所有行星都沿着逆时针方向绕太阳公转，同时绝大多数行星也以逆时针方向绕着它们的自转轴自转，唯独金星以顺时针方向自转，是个例外。由于自转方向和地球等其他行星相反，对于金星上的观测者而言，太阳就会从西边升起，到东边落下。不过金星上的太阳升落可不容易感觉到，因为金星是太阳系所有行星中自转速度最慢的。金星上的太阳日（即前后两次日出之间的时间间隔）

为116.75个地球日，而金星的恒星日（即金星自转一周的时间）要长达243个地球日，相比之下，它绕太阳公转一圈才224.7个地球日，所以金星上的“一天”比“一年”还长。金星赤道表面的转动速度为6.5千米/小时，作为比较，地球赤道的转动速度比它快250多倍。

金星在形成之初，也许和其他行星一样是逆时针自转的，历经几十亿年的演化才慢慢变成现在的样子。有天文学家认为，在几十亿年前金星可能经历过一次猛烈的撞击，撞击事件为金星增添了至少一颗卫星。在此之后大约1000万年，另一次碰撞又使得金星的自转方向彻底反向，同时还使得这颗卫星最终撞上了金星，两者融为了一体。此外，来自太阳和其他行星的引力作用以及金星自身浓密大气的潮汐作用，也对它自转的演化起到了关键的作用。金星目前的自转周期可能正是太阳引力的潮汐锁定作用和金星大气潮汐之间相平衡的结果。（谢懿）

为什么到金星上旅游困难重重

以目前我们对金星的认识，人类如果想去金星上旅游，那么首要解决的问题便是高温、缺氧和酸雨。

金星表面的温度比最靠近太阳的水星还要高，可以超过460°C。于是这就为来自地球的造访者提出了一个严峻的问题，那就是如何来抵御如此高的温度。人类目前已经可以在真空的月球表面上行走，那里白天的地表温度是130°C，但是月球上没有大气，高温只限于地表，而且“阿波罗计划”为宇航员准备的太空服可以利用真空的环境，通过“升华器”这样的装置让水在真空中升华成水蒸气来带走热量。然而，金星的温度比月球高得多，气压又很高，现有的设计方案已不再适用。另外，金星上还有浓厚的硫酸云层，其中的酸性物质有腐蚀性，这就需要太空服具有抗腐蚀的特性。



金星表面

除了这两个可以直接想到的困难之外，还有一个隐性且更棘手的障碍摆在金星观光客的面前。虽然金星表面的风速并不大，在几千米每小时上下，但由于金星大气的高密度，风会在任何阻挡它去路的物体上施加可观的外力，于是在金星的整个表面之上都是飞沙走石的景象。即便高温和缺氧已不再是问题，风也会使人很难在金星上行走。因此对于喜欢徒步的背包客而言，金星也许会成为他们寸步难行的地方。（谢懿）

【微博士】金星“维纳斯”

金星是离地球最近的行星。因为只有在黎明或傍晚才能看到，所以中国古代称其为启明或长庚。由于颜色发白，故又称为太白或太白金星。古希腊人称其为阿佛洛狄忒，古罗马人称其为维纳斯，即爱与美的女神。人们一度认为它可能适合人类居住。不过美国科学家卡尔·萨根研究了金星的射电辐射后，发现其表面温度接近500℃，并不像人们想象的那样是怡人的天堂。萨根创立了金星大气的温室模型，解释这颗行星令人费解的高温，同时，他还觉察到由人类活动而产生的温室效应可能正在导致全球变暖，并将此与金星上自然形成的高温环境做了类比。

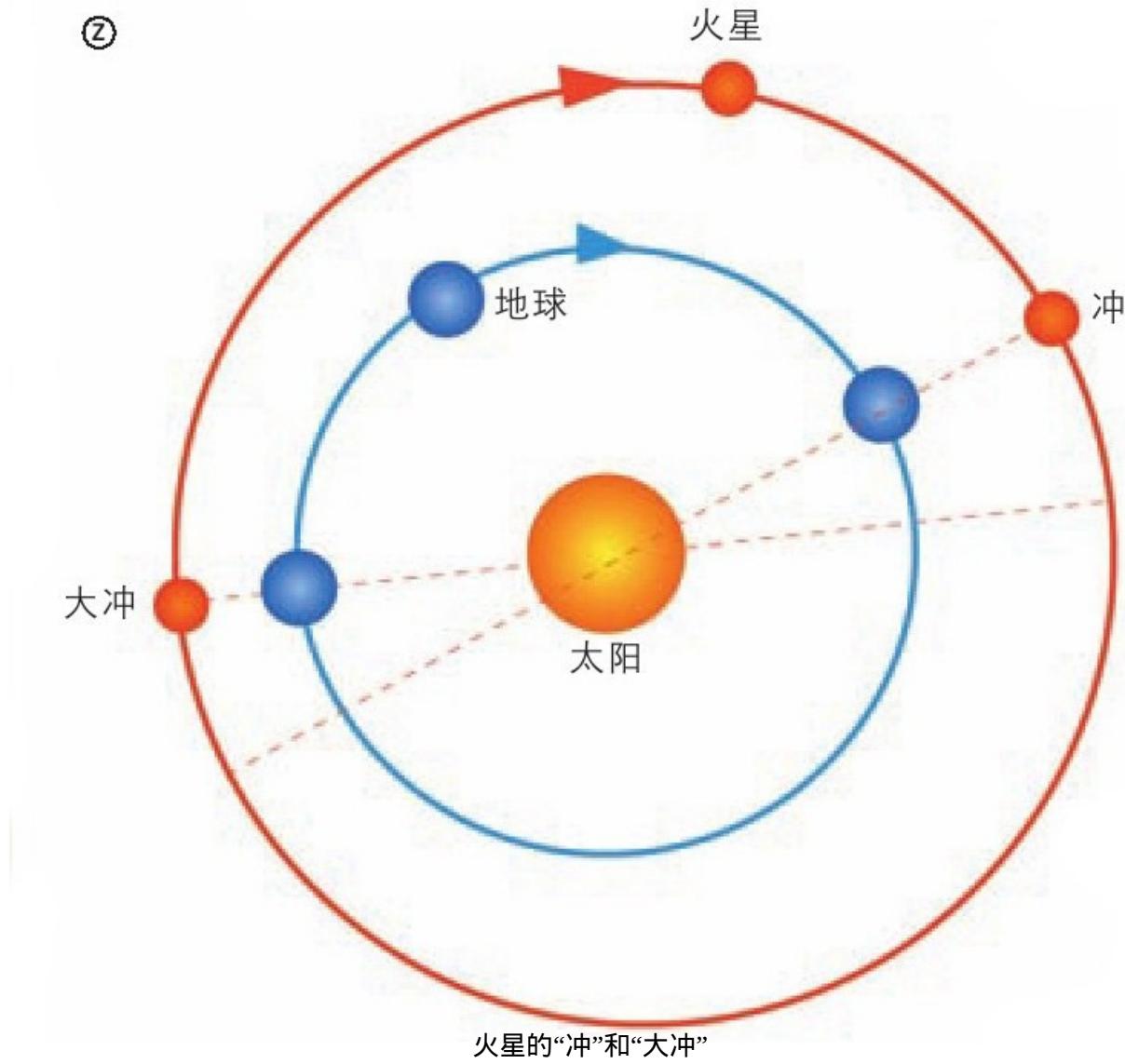
【微问题】金星的颜色从何而来？

【关键词】金星 硫酸云 温室效应

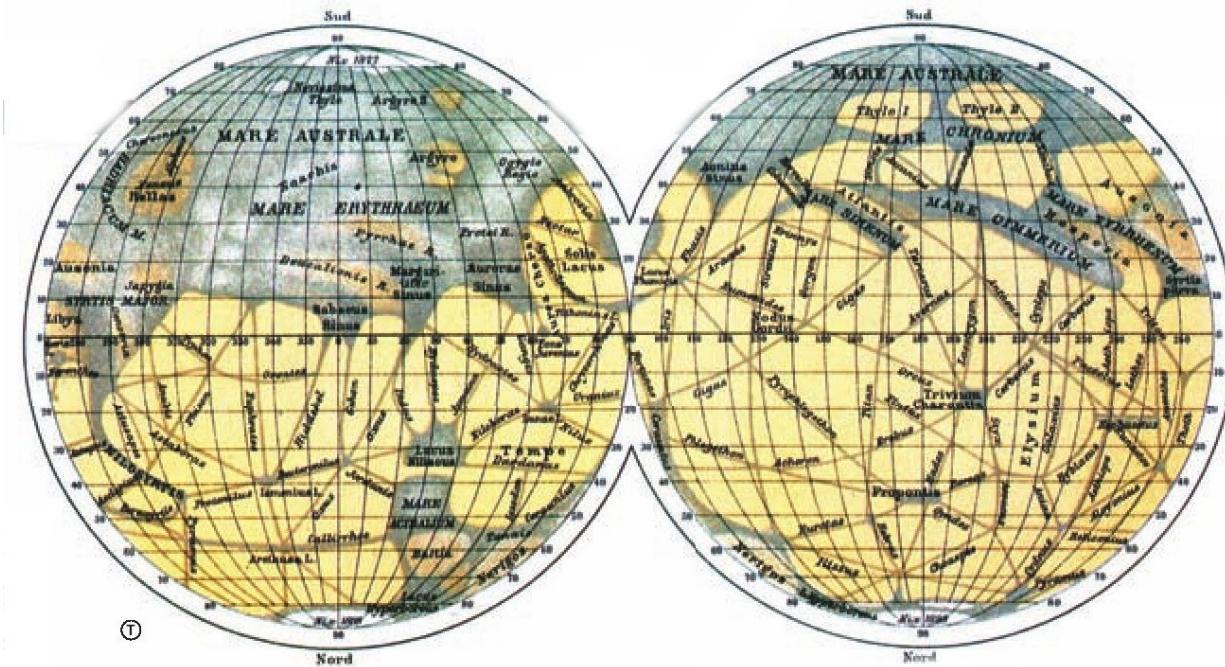
为什么会发生长达大半个世纪的火星“运河”之争

1863年，意大利天文学家塞奇用望远镜观测发现，火星上有些区域比较亮，有些区域却相当暗。其中有的暗区很宽阔，有的却很狭窄。塞奇觉得这就像地球上的海洋很广阔，河流很狭窄，所以他把火星上那些又窄又暗的特征称为“水道”。

观测火星最好的时机是“大冲”。当火星和地球在太阳的同一侧，地球恰好在火星和太阳之间时，火星离地球最近。这种情况称为火星冲日，简称“冲”，平均每2年又49天发生一次。火星每次冲日时，同地球的距离并不完全相同。每隔15年或17年，会发生一次火星同地球靠得特别近的“大冲”。那时这两颗行星可以接近到约5600万千米，成为在地球上观测火星的最佳时机。



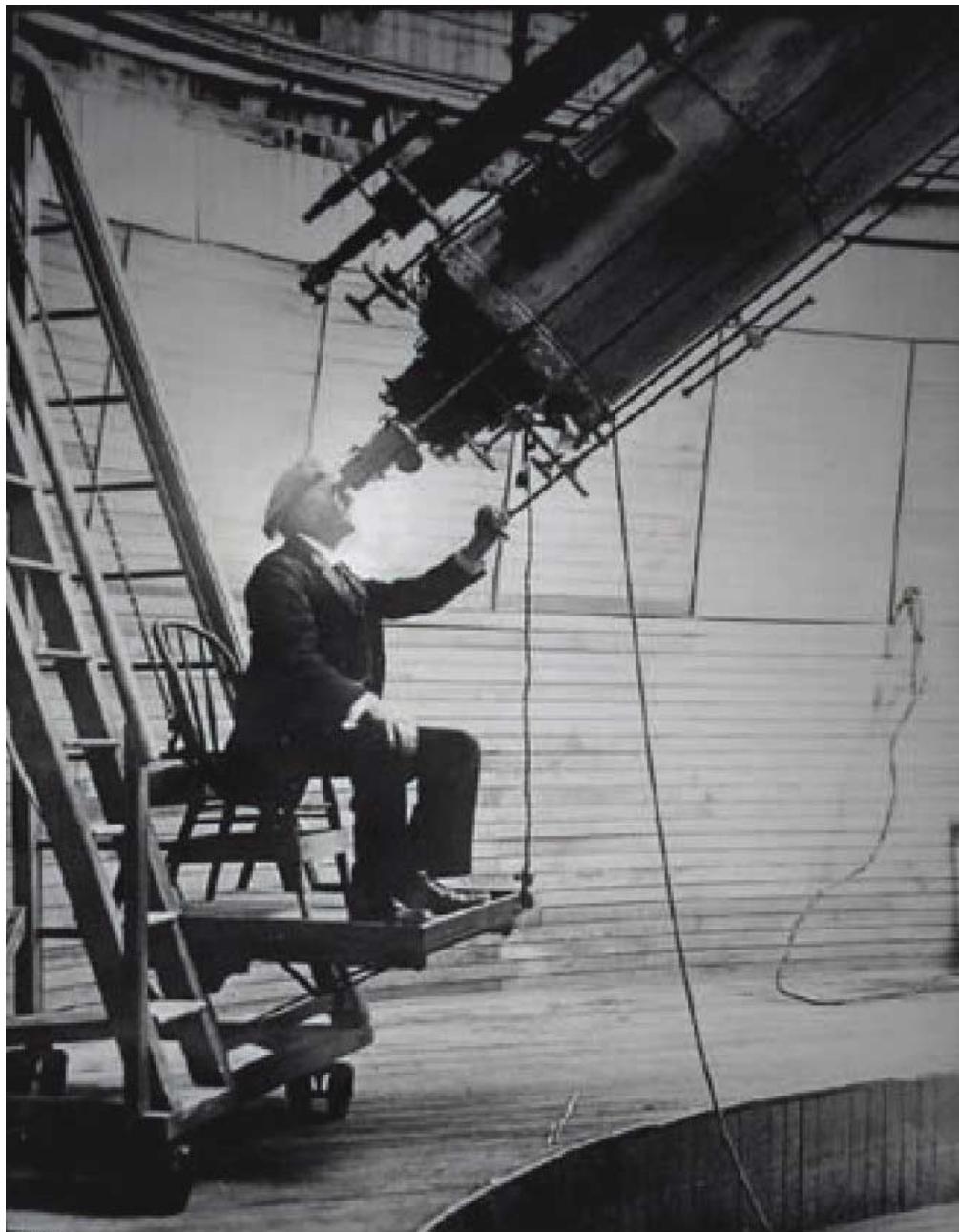
1877年火星大冲前后，另一位意大利天文学家斯基亚帕雷利使用更好的望远镜仔细观测，也发现火星上有不少暗线把较大的暗区连了起来，就像地球上的海峡连通着大海。他也用意大利语把这些暗线称为“水道”，不料人们在译成英语时却误译成了“运河”。



斯基亚帕雷利绘制的火星图

运河是人工开凿的。火星上如果有“运河”，那就一定有“火星人”。科幻作家们更是想象火星上有一个正在衰亡的种族，它们企图依靠巨大的运河网尽量调用那些面临枯竭的水。这类科幻小说中，最著名的是英国作家威尔斯在1898年出版的《两个世界的战争》。

事实上，坚持认为自己观测到了火星运河的天文学家是少数。其中最突出的是美国天文学家洛厄尔，他在1906年和1908年出版了两本很受欢迎的书：《火星和它的运河》以及《火星，生命的居住地》。但是，另一位以目力敏锐著称的美国天文学家巴纳德却无论如何也看不出火星上有“运河”。他指出那纯粹是视觉错误：当人眼竭力注视远方难以辨认的物体时，常会把许多不规则的小暗点误连成一条条直线。



W

洛厄尔正在观测

1913年，英国天文学家蒙德做了这样的实验：他在一些圆内画了许多模糊而不规则的斑点，然后让一些小学生站在远处观看，并将看到的形象画下来。结果，他们画的就像是斯基亚帕雷利的火星图。

火星运河之争，直到人类进入空间时代才平息下来。20世纪六七十年代，美国发射的几艘“水手号”宇宙飞船从火星附近拍摄的大量照片，都没

有任何运河的迹象。1976年夏季，美国的“海盗1号”和“海盗2号”宇宙飞船在火星上登陆。它们看到的只是一片荒凉。原来，火星运河只是各种地貌特征加上想象力的产物。争论结束了，这时离斯基亚帕雷利最初的观测正好是一个世纪。（卞毓麟）

为什么说火星像是一个“袖珍的地球”

在太阳系中，火星是地球轨道以外的第一颗行星，它是地球的近邻。火星最靠近地球时，彼此相距5600万千米，约为月地距离的150倍；最远离地球时，彼此相距约4亿千米。

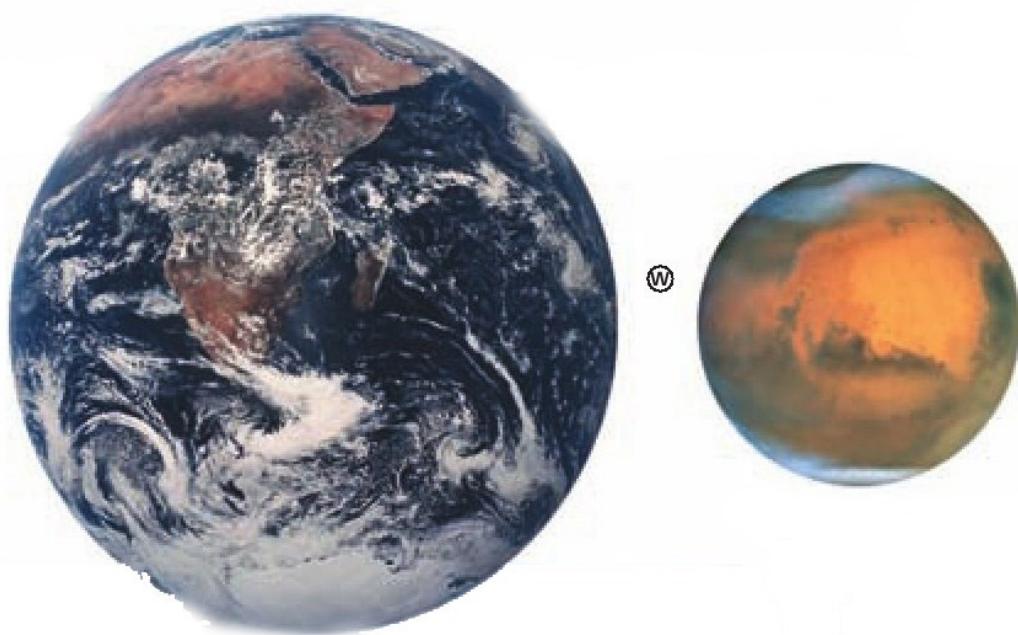
火星的直径是6770千米，约为地球直径的53%，其表面积差不多有15个中国那么大。火星的质量约为地球的1/10，其表面的重力仅为地球表面重力的1/2.6，因此在火星上发射宇宙飞船要比在地球上发射更容易。

火星自转一周约需24小时37分钟，所以那里的一昼夜只比地球上的一昼夜长半个多小时。在火星上，同样可以看到群星东升西落。

地球绕太阳公转一周所需的时间，就是地球上的一年，约为365.24天。火星同太阳的距离约为日地距离的1.5倍，它绕太阳公转一周所需的时间，就是一个“火星年”，其长度等于地球上的1.88年，即地球上的687天，这相当于668.6个“火星日”。因此，在火星上一年之中可以看到668次或669次日出日落。

地球的自转轴并不恰好垂直于地球的公转轨道平面，而是倾斜了约23.5°。自转轴与公转轨道平面的夹角为66.5°，由此导致了一年的四季变化。火星自转轴与火星公转轨道平面的夹角约为65°，所以火星上季节变化的方式与地球很相似，而且火星也像地球那样可分为热带、温带和寒带。火星的南北两极，各有一个白色的“极冠”，宛如地球两极覆盖的冰层。火星也有一层大气，但比地球大气稀薄而少云。

上述这一切，使人觉得火星宛如一个“袖珍的地球”。其实，火星同地球还是有着相当大的差异。最为突出的是，地球上物种繁多，生机盎然，而且出现了人类文明；火星上有没有生命却至今尚未查明。但是不管怎么说，火星毕竟是同地球最相像的一颗行星。科学家甚至设想，将来有朝一日，可以将火星改造成为人类的又一个家园。（卞毓麟）



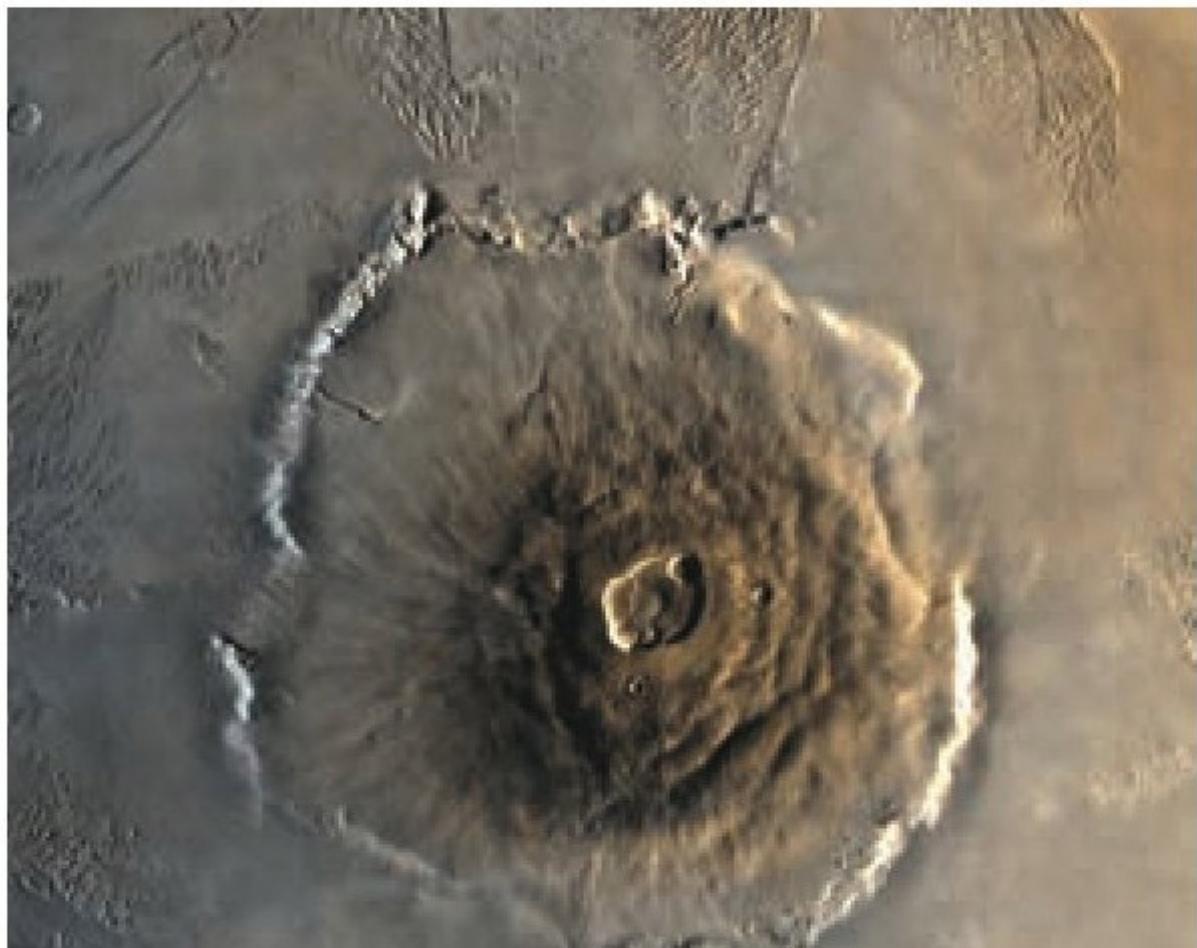
地球与火星的大小比较



⑩

火星上的日落

W



火星上的奥林匹斯火山高达26千米

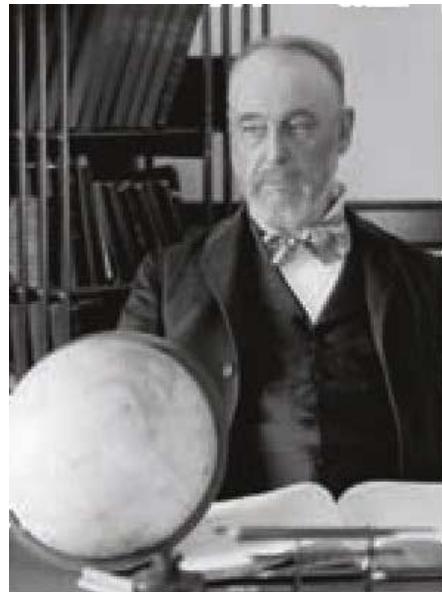


火星大气和土壤

【科学人】霍尔

美国天文学家阿萨夫·霍尔（1829—1907）13岁时就去木工作坊当学徒，以支撑其父亲已经去世的家庭。观测星空的强烈欲望驱使他发奋自学，1863年他34岁时成了美国海军天文台的教授。1876年他发现了土星表面的白斑，并利用它确定了土星的自转周期。霍尔最激动人心的发现是在1877年火星大冲期间发现了火星的两颗卫星。他坦然宣称看不出火星上有什么“运河”。

【微博士】火星的卫星



W



N

火卫一（左）和火卫二（右）

火星的两颗卫星都离火星很近：“火卫一”离火星中心9450千米，每7小时39分钟绕火星公转一圈；“火卫二”离火星中心23500千米，每30小时18分钟公转一周。它们都不是球形的，而像被虫咬过的“马铃薯”。火卫一的最大直径是27千米，火卫二的最大直径只有15千米。它们太小了，在火星的天空中看起来远不如在地球上看到的月亮那么美丽，而且它们的本影影锥无法落到火星表面，在火星上也就无法看到由它们所造成日全食。

【微问题】火星上会有日食和月食么？

【关键词】火星冲日 火星运河 火卫一 火卫二

为什么要进行“火星500”大型试验



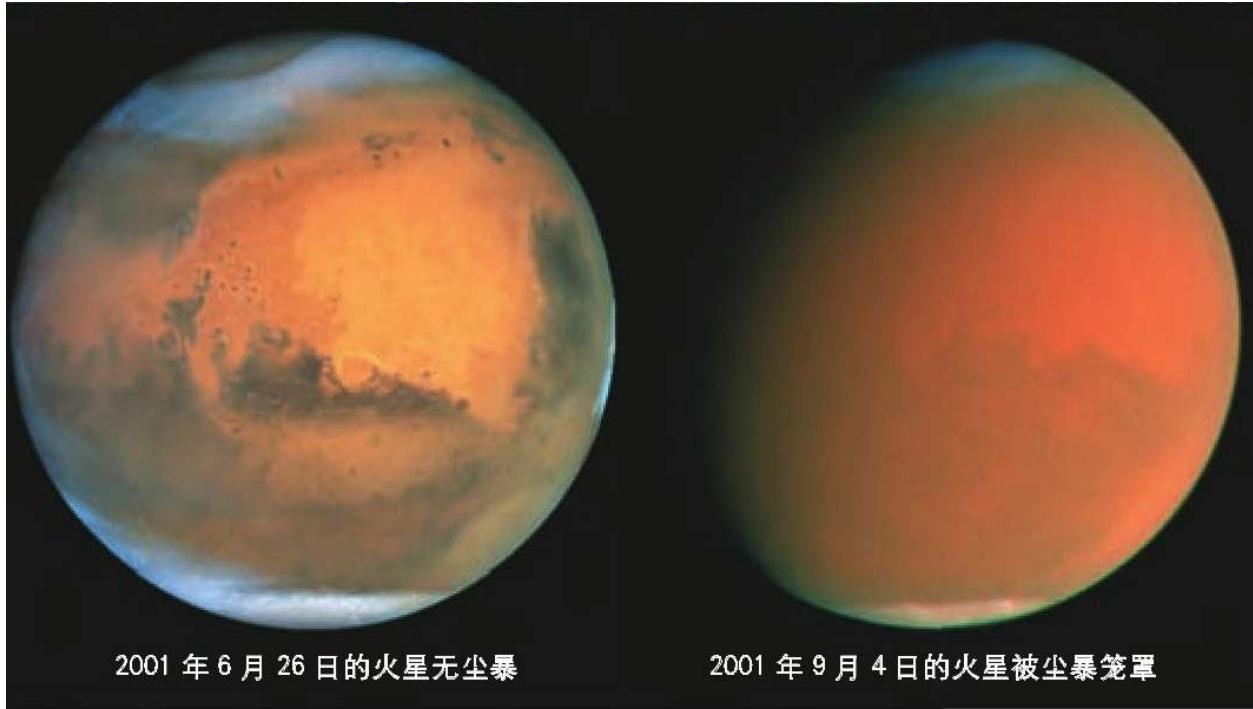
“火星500”志愿者出舱，王跃向人们致意

目前从地球到火星往返一次，至少需要一年多的时间。在未来的载人火星飞行途中，宇航员长期处在一个狭小、密闭、单调、远离亲人的环境中，还要完成大量复杂的工作，这是否超出了人在生理上和心理上能够忍受的极限？它又会对宇航员造成怎样的后果？这些问题必须通过真实可靠的试验来解答。“火星500”正是为此目的而设计的。它是由俄罗斯组织的一个大型国际试验项目，是人类第一次在地球上尽量逼真地模拟载人火星飞行的全过程：飞向火星，环绕火星，登陆火星，直到返回地球。试验在莫斯科郊外的俄罗斯航天生物医学问题研究所进行。来自4个国家的6位志愿者，既是这次试验的操作者，同时也是被试验的对象。

整个试验共包括各国提出的106项实验，其中3项是由中国主导设计的。2011年11月4日，这6位志愿者——包括中国人王跃，在舱内“封闭”了整整520天，完成了艰难的火星之旅，终于凯旋而归，顺利出舱。

这次“火星500”模拟试验包括4大方面，即模拟生活环境、模拟飞行程序、模拟通信状态以及模拟登陆火星。试验舱本身研制得是否合理，对于整个试验能否顺利完成至关重要。“火星500”试验舱包括公共活动舱、生活舱、医疗舱、火星着陆模拟舱这样4个既互相独立又彼此连接的舱段，另外还有一个轻型充气火星表面模拟器。各舱段之间由舱门和转换通道相连。每个舱段都各有配套的生命保障系统、供电系统和指挥系统。其中最复杂

的就是生命保障系统，它包括能源保障、照明、摄像、通信、气体分析、空气清洁、通风和空调、氧气和气压维持、监视和控制、火警等许多子系统。“火星500”试验的圆满成功，为今后真正载人火星飞行积累了非常宝贵的经验。（卞毓麟）



④

弥漫全球的火星尘暴

为什么火星上会出现大尘暴

火星大气很稀薄。火星表面的平均气压仅约700帕，还不及地球海平面气压的1/100。火星大气中95%是二氧化碳，氮居其次占2.7%，氧和水蒸气的含量极少。火星大气中也有风、云、雾、霜等天气现象。火星黎明前后，有时会晨雾弥漫。火星云比地球少得多，有水冰云，也有二氧化碳冰形成的云，即干冰云。在寒冷的火星夜晚，大气中的水和二氧化碳都可能冻结成霜。

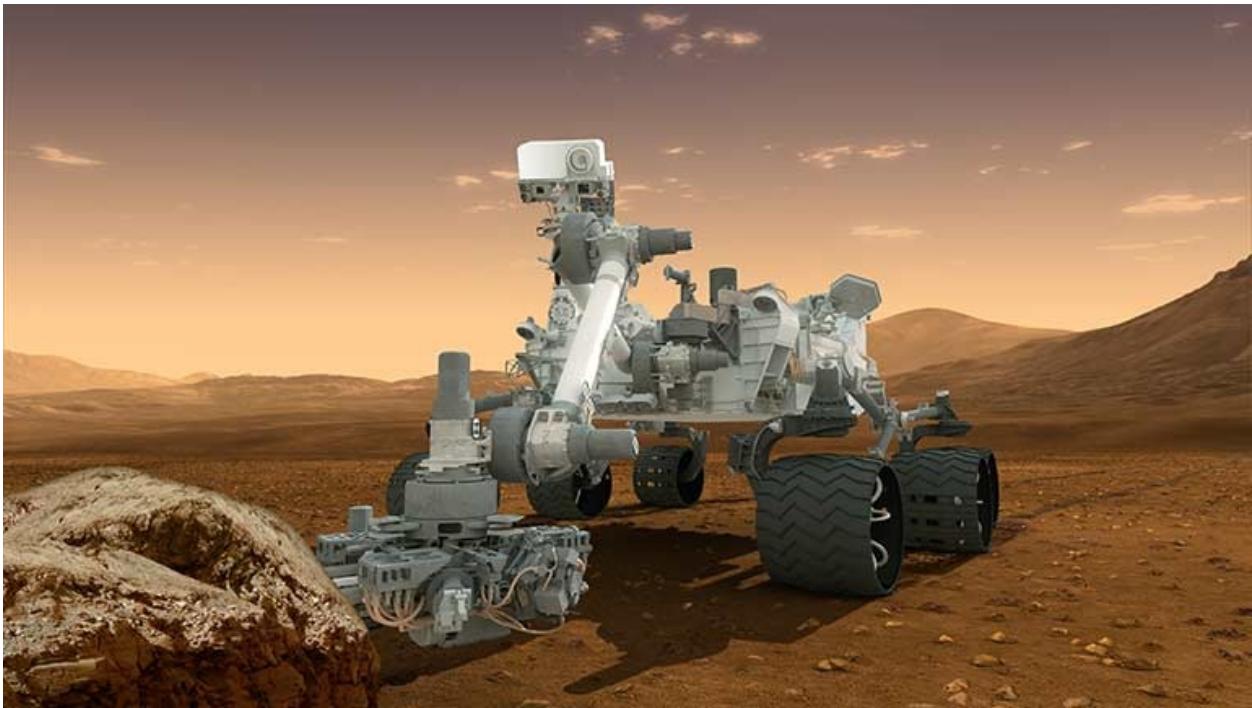
火星上的风速可达数十千米每小时，大量尘埃被卷到空中，就会形成

尘暴。在火星通过近日点前后，其南半球处于春夏之交，这时阳光增强，大气变得不稳定，成为尘暴的发源地。在火星上，每年总会有上百次的地区性尘暴，有的还会发展成全球性的大尘暴。尘暴会改变大气温度，而且尘埃也是水汽和二氧化碳的凝结核，最终会沉降到极区。

1971年11月13日，美国的“水手9号”探测器进入环绕火星的轨道。当时一场大尘暴席卷火星全球，连极冠也被遮蔽得无法看见。这使“水手9号”起初拍摄的远距离照片令人失望。那时，苏联的“火星2号”和“火星3号”探测器也接踵而至。它们比美国的探测器更大也更精巧。但是，尘暴成了扼杀它们的凶手：它们向火星表面投下的照相设备完全失踪了。“水手9号”幸亏机动能力很强，在等待尘暴平息的过程中，暂时把考察目标转向两颗火卫，并且成功地拍摄了火卫的近距离照片。同年12月，尘暴终于平息下来。“水手9号”开始考察火星本体。它绘制的火星全图清楚地表明，火星可分为外貌迥异的两半。一半有许多环形山，相貌如月；另一半环形山较少，或许是火山活动铸成了现在的模样。（卞毓麟）

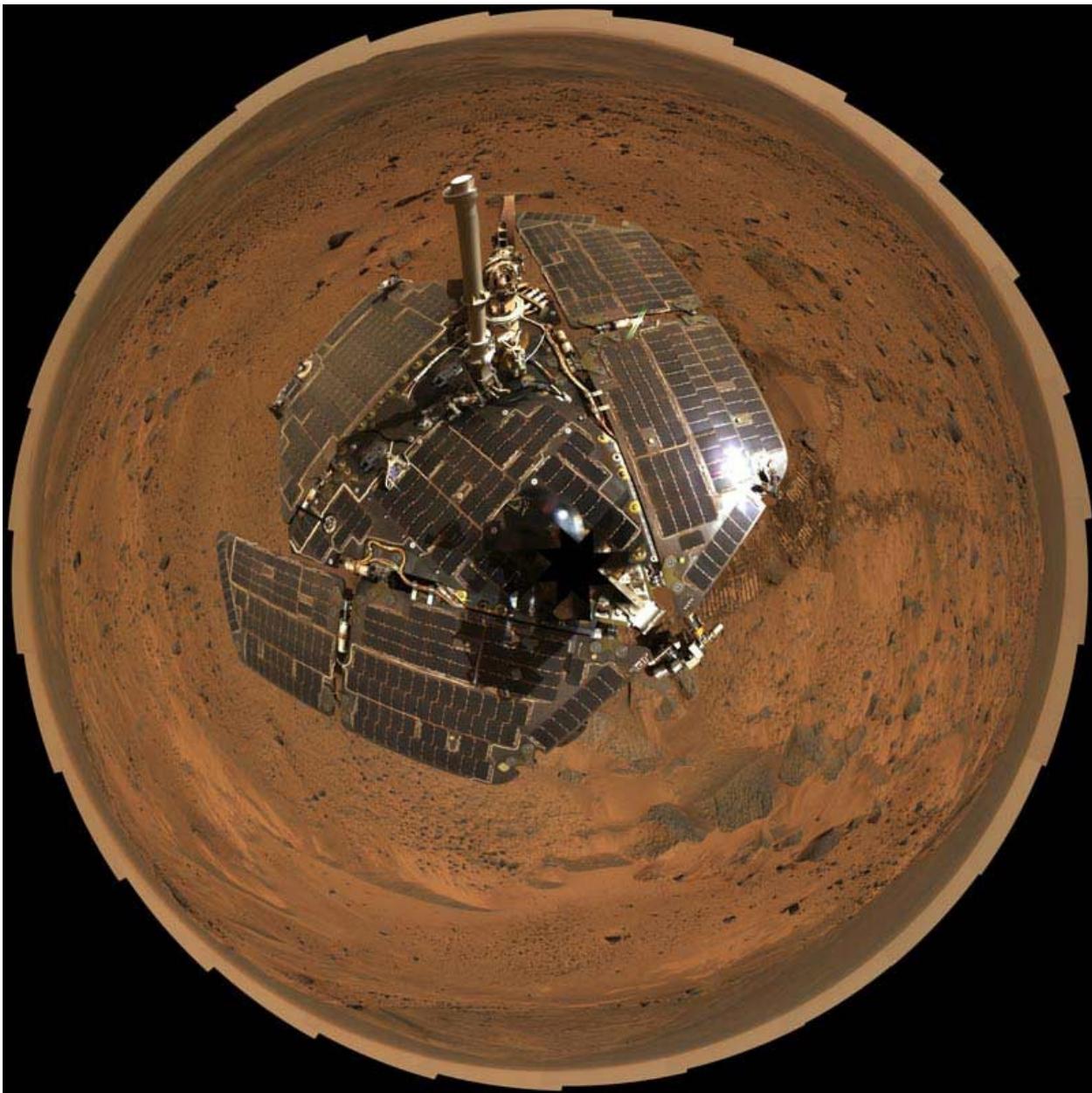
为什么要造那么多火星车

火星是否存在生命，或是否曾经有过生命，是一个很重要的问题。要找到这个问题的答案，就需要探测器亲临火星进行考察。人类已经发射了好几十个火星探测器，其中有的只是从火星近旁一掠而过，例如美国的“水手4号”；有的进入环绕火星的轨道，成为火星的人造卫星，例如“水手9号”；有的直接着陆到火星表面，例如“海盗1号”和“海盗2号”，对火星的地表进行探测，发回了很多宝贵资料。



“好奇号”火星车

但是上述探测器并不能在火星表面自由活动，探测范围有限，于是人们又制造了火星车。火星车可以在火星上自动行驶，大大拓展了科学考察的范围。



“勇气号”在火星表面的“自拍照”

火星车在火星表面自动行驶，寻找最有价值的考察地点，对于扩大样品采集范围极为有用。派一辆火星车向火星上那些庞大的峡谷中挺进几百千米，它也许就能从厚达数千米的火星地层中采集样品。那里的一系列岩层保存着火星地质史上的许多记录，它们是了解火星历史演变状况的重要线索。迄今已有4辆火星车登上火星：1997年的“旅居者号”，2004年的“勇气号”和“机遇号”，以及2012年8月的“好奇号”。人类总有一天会像多年前

登上月球那样，亲自登上火星。而在此之前，科学家需要火星车不断地搜集火星上各种详细、可靠的“情报”。（卞毓麟）

【微博士】火星陨石

外来天体撞击火星，撞出的碎块飞到地球上，就是火星陨石。有一块火星陨石名叫ALH84001，其显微切片疑似有单细胞生命化石的痕迹。这层神秘色彩增加了人们探索火星的兴趣。

【微问题】火星上有没有生命存在的迹象？

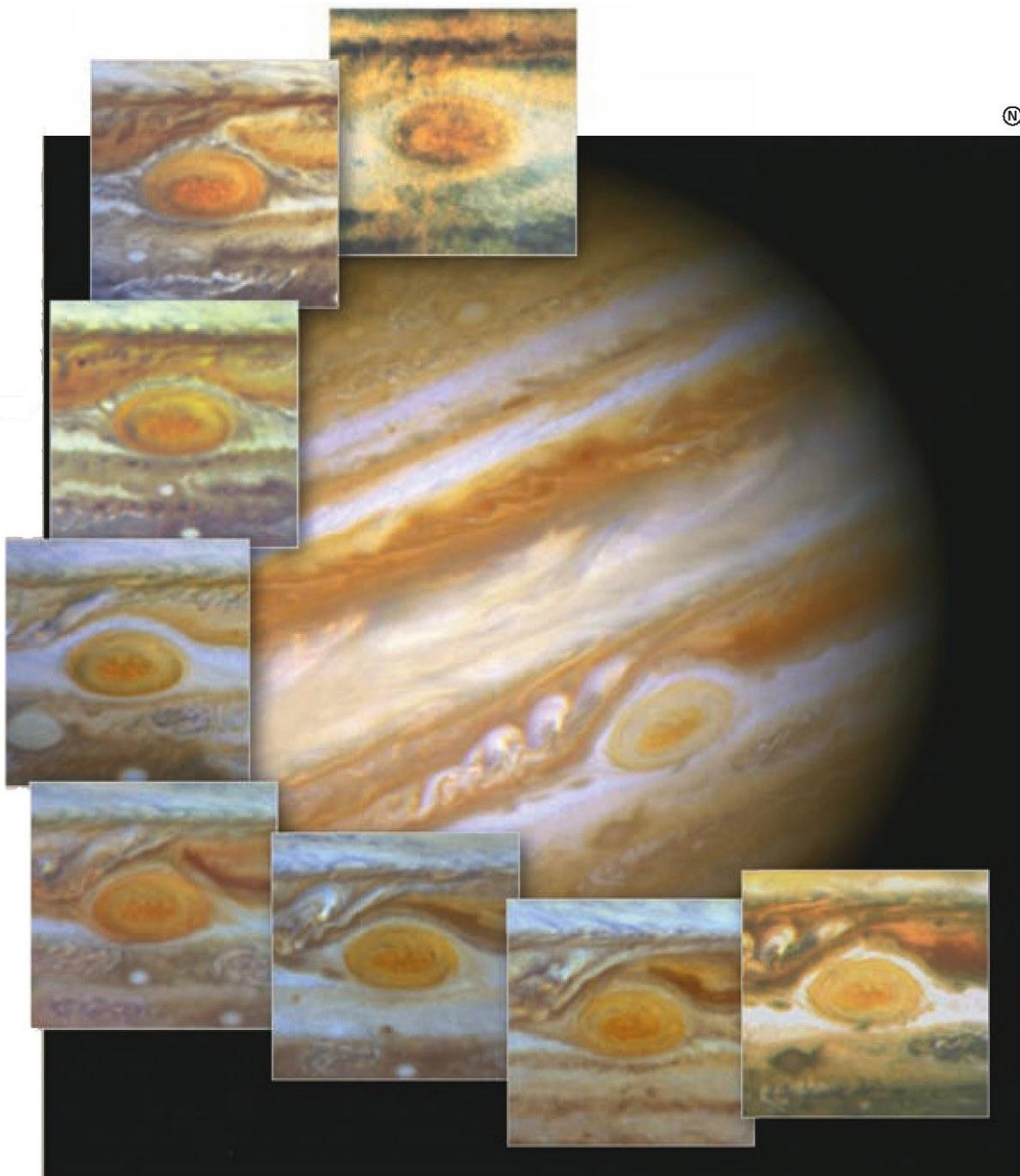
【关键词】火星500 尘暴 火星车 好奇号

木星上有哪些靓丽的风景

木星在中国古代被称为“岁星”。它绕太阳运行一周的时间为12年，正好与十二地支相配，因此得名。这一特性使得木星成为天空中一只巨大的时钟，具有纪年和修订历法的重要意义。

尽管距离遥远，但木星在望远镜中看上去要比其他行星大得多。在口径只有5厘米的小望远镜中，我们至少也可以看到木星的两条赤道云带，口径更大、质量更好的望远镜则能揭示出更多的云带。这些云带是天文爱好者喜爱的风景。

木星云带中运动得最快的部分位于木星的赤道地区，其上方的云比木星的其他部分绕木星转动一周所需时间短5分钟。覆盖木星的云系会不断地变化，巨大的深色云带会从一处出现或者消失。

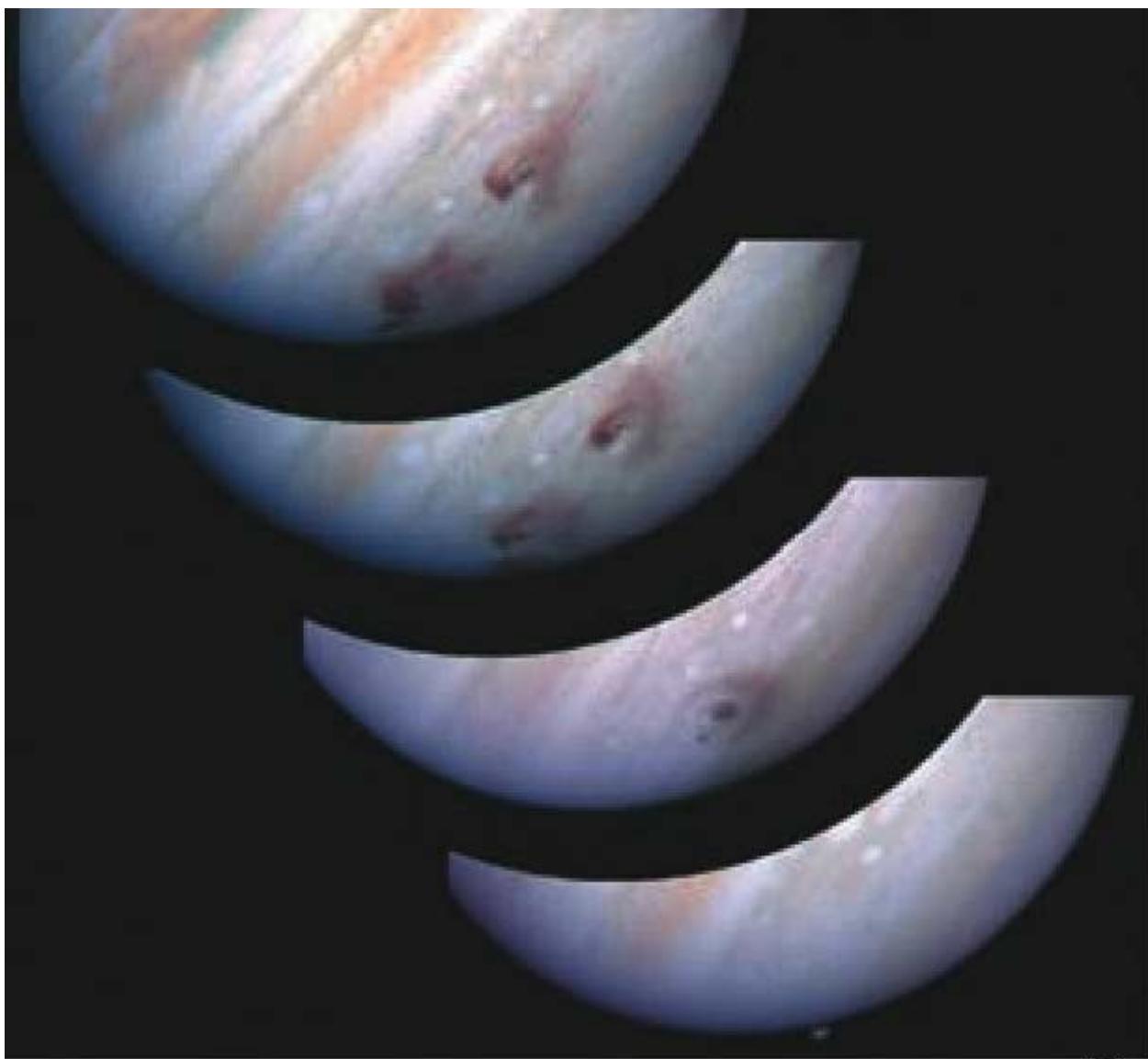


木星上的大红斑是一个反气旋旋涡，直径约相当于2个地球

此外，跟踪木星卫星在它表面所投下的影子也是天文爱好者望远镜中可见的壮美景象之一。稍大一些的望远镜在100倍左右的放大率下都能看到这一现象，而当木星卫星的小黑影出现在木星较亮的云带上方时尤其显

著。由于木星的卫星大小不一，加之到木星的距离也在不断变化，所以它们的影子也有着不同的大小。比起木卫二和木卫四，木卫一和木卫三能产生更明显的影子。除了能在木星上投下影子之外，木星的卫星有时还会进入木星的影子或者是消失在木星的背后。追踪这些事件也格外有趣。

不过，和这些波澜不惊的现象比起来，监视木星被小天体撞击这样的剧烈事件近年来已经成为资深天文爱好者热衷的活动，而且更有科学价值。



舒梅克-列维9号彗星撞击木星的连续照片（时间顺序从下至上）

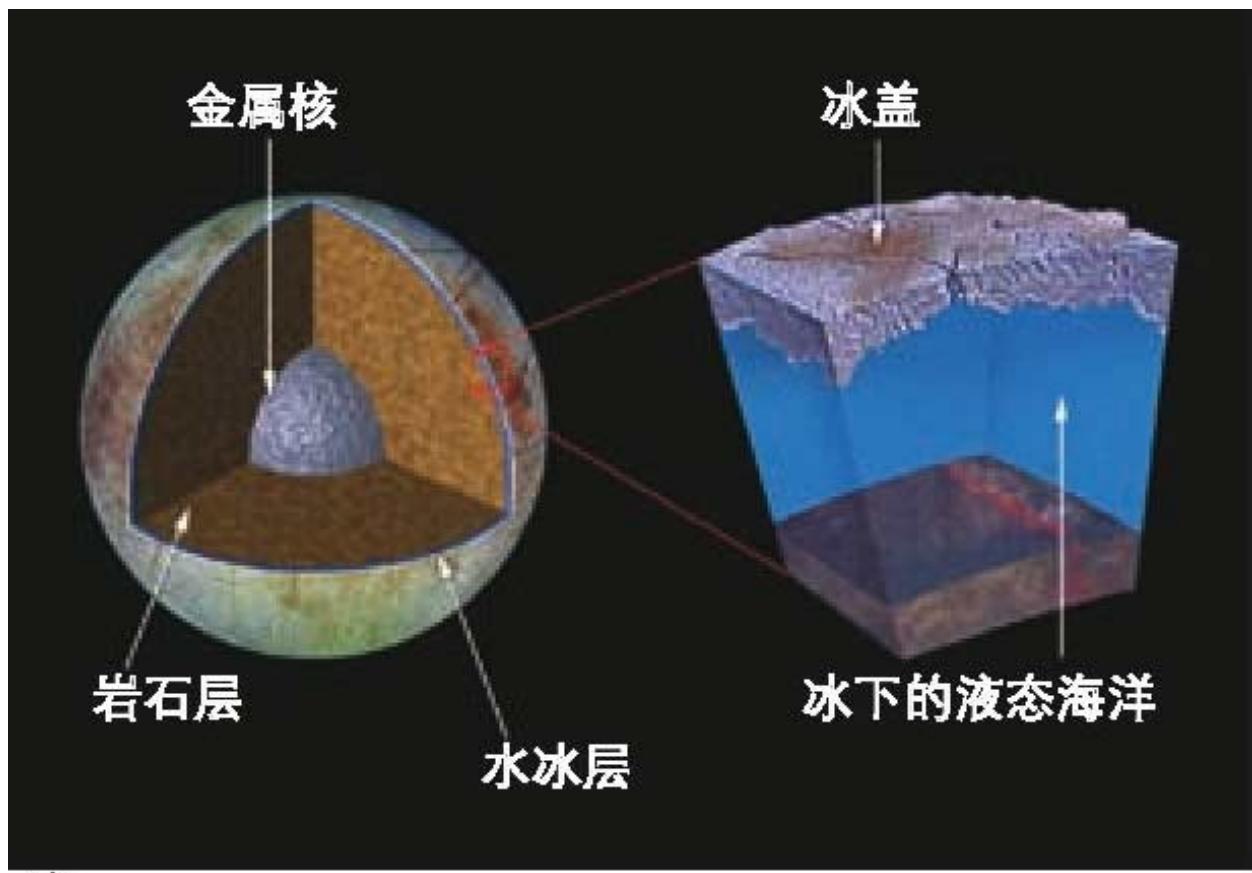
(N)

近20年来，木星已经成为多次撞击的靶子。1994年7月，舒梅克-列维9号彗星瓦解出的21块碎片先后撞上了木星。2009年7月18日，一颗直径500米的小行星撞上了木星。世界时2010年6月3日20时30分，两位资深天文爱好者克里斯托弗·郭和安东尼·伍斯利观测到了在木星大气层中出现的火流星。这意味着木星再一次遭到了撞击，地点就在当时已经消失的木星南赤道云带处。不过，要观测到这样的风景，需要很好的运气。（谢懿）

为什么说木卫二上有海洋，甚至可能有生命

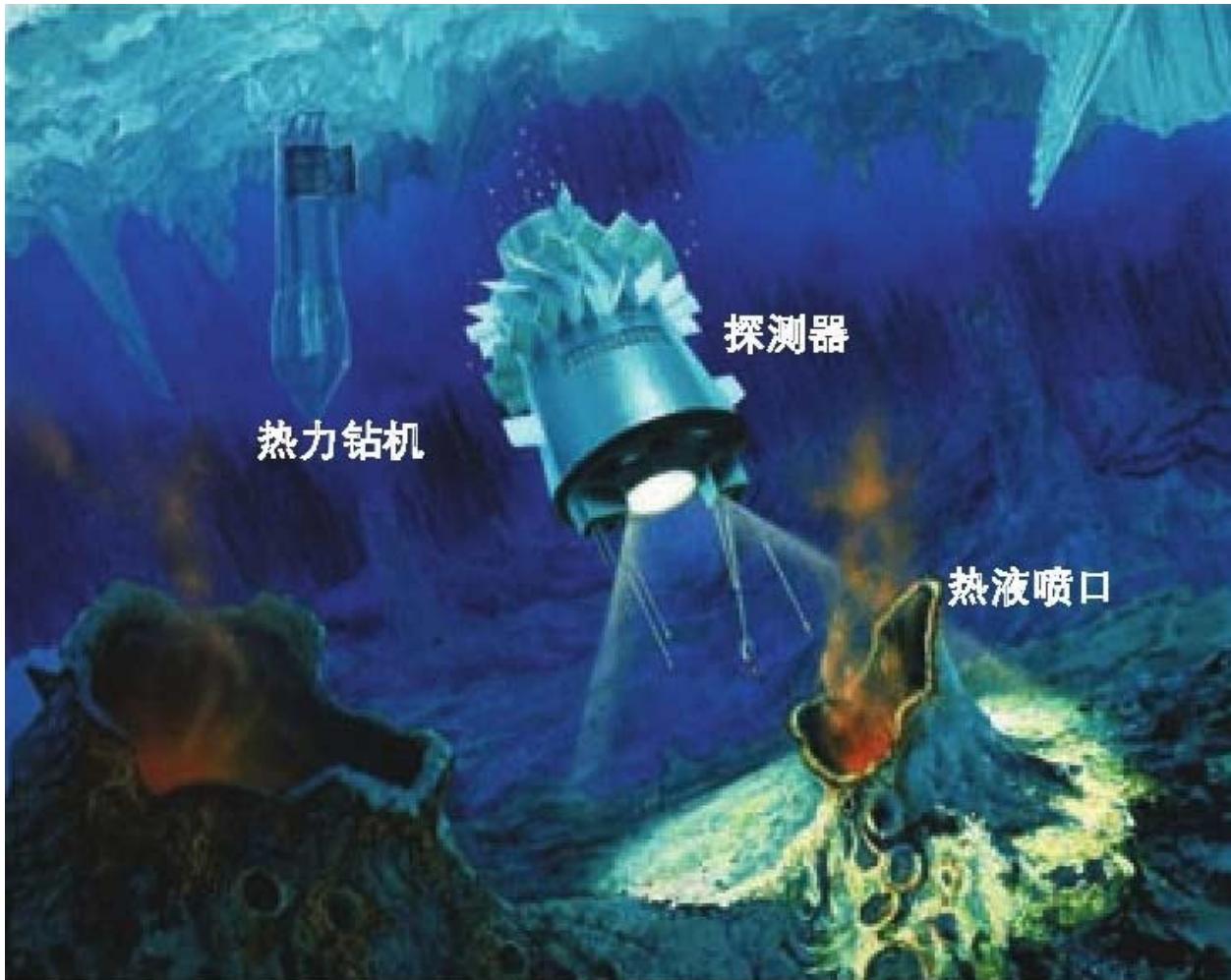
当导线位于随时间变化的磁场中时，会产生感应电流，它们反过来又能产生可以被探测的磁场，这就是在安检时使用的金属探测器的工作原理。

利用同样的原理，美国航空航天局的“伽利略号”木星探测器“看”到了木卫二上的带电导体层，而其最可能的解释便是木卫二在其冰壳之下拥有一个含盐的、全球性的海洋。



⑩

木卫二的内部结构



◎ 在木卫二的海洋中，由热力钻机释放出探测器，探测可能存在的热液喷口（想象图）

木卫二的大小与月球相似，在成分上则和地球极为相像。但其表面为一个巨大的冰层所覆盖，厚度从几千米到数十千米不等。由木卫二环绕木星的特殊轨道所引发的引潮力会使冰层破碎，形成布满其表面的裂缝。它同时还会对木卫二的岩石核心进行潮汐加热，这也许会产生足够的热量在木卫二冰冻的表面下维持一个液态的海洋。如果这一海洋能延伸到它的核心，那么黑暗海底的热液喷口就能够提供可以供养微生物甚至虾体型大小的食肉动物所需的营养物质。

不过，要想一探究竟的话，第一步就是要凿开木卫二表面的冰层。为此科学家正在设计一个钻孔机，希望它能在计划于2020年实现的木卫二探测任务中把人类的视野带入前所未见的木卫二冰下世界。这个形如鼹鼠的

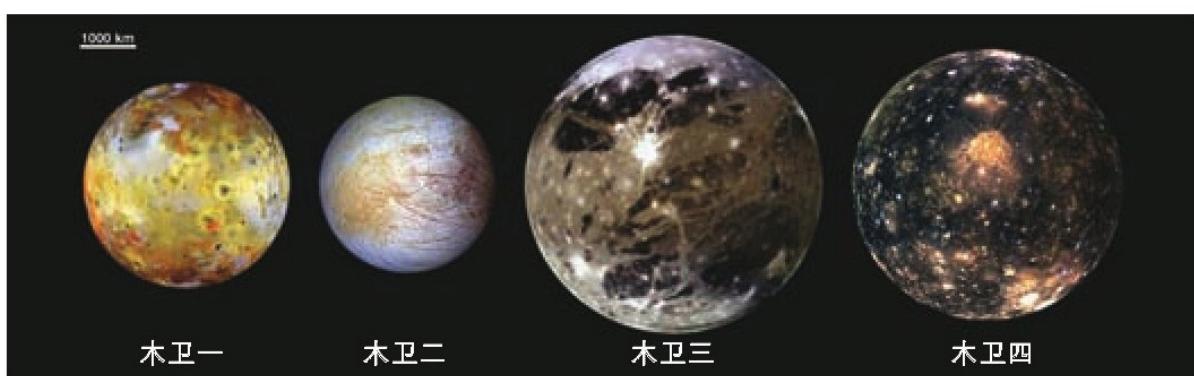
热力钻机会释放热量来融化冰，并通过转动钻头上的刀片来清除石块等残渣。它会被安装到一个撞击器上，后者会把它带往木卫二的冰面。

与使用机器人软着陆进而开始钻孔不同，撞击器要简单、廉价得多。在撞击器撞上木卫二之后，热力钻机会被释放出来。然后它开始钻探。任何想寻找木卫二上生命迹象的探测器都必须深入它的冰层至少2米以上，因为在这个深度有机物才能免于强辐射和粒子的轰击。热力钻机计划钻到冰面以下10米深处，对那里的物质进行采样。（谢懿）



⑩

木卫二投影在木星表面上



⑪

4个最大的木星卫星

为什么木星那么扁

你可能注意到，从我们的地球到巨大的木星，到处都是球形的天体。天体呈球形的原因就是引力。对于那些大小超过地球1/5的天体而言，其自身的引力决定了它们的形状是各向同性的球形。

但是除了引力之外，自转也会改变天体的形状。一个日常生活中的类比就是面团：当你转动一个面团的时候，它就会变扁。对于天体而言，它的形状由其内部引力和自转的离心作用共同决定。木星的自转非常快。在赤道部分，它自转一圈的时间不到10小时，是八大行星中自转最快的。而且木星不是一个固态的行星，而是一个气态行星，就更容易受自转的影响。因此，木星的快速转动使得其自身呈显著的椭球形，它的两极看上去被压扁了约7%。（谢懿）

【微博士】木星的卫星

哪怕是一架小型的双筒望远镜，它也能向你展现出木星最大的4颗卫星。它们绕木星的公转周期从几天到十几天不等，于是有时两两分居于木星的两侧，有时又在同一侧连成一线。从木星向外数，这4颗主要卫星依次是木卫一、木卫二、木卫三和木卫四，是伽利略于1610年使用刚问世的天文望远镜首先发现的。

【微问题】木卫二如果有生命，这些生命会有感受光线的眼睛吗？

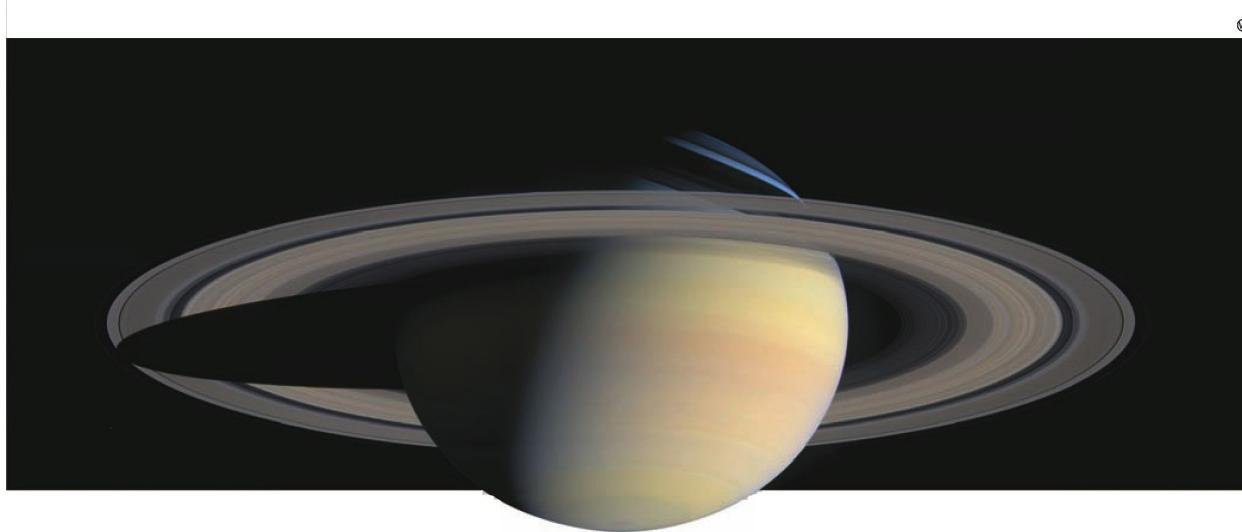
【关键词】木星云带 木卫二 舒梅克-列维9号彗星

土星大气为什么会像天王星一样呈蓝色

从望远镜里看去，土星呈鹅黄色，透出一种静谧与优雅。在土星的外层大气中，氢分子占据绝大多数，达96.3%，此外还有约3.3%的氦以及痕量的氨、乙炔、乙烷、丙烷、磷化氢和甲烷。这些不同的成分混合在一起造就了土星的鹅黄色外表。然而，这并不是它的全貌。美国航空航天局的“卡西尼号”探测器在2005年临近土星时，发现土星的北半球大气层呈蓝色，与天王星和海王星的大气十分相似。这是为什么呢？

和地球一样，土星也有其自身的季节变化。每过14~15年，阳光就会直射到土星的赤道之上，它的北半球或者南半球就会进入春季。更为特殊的是，在季节变化的过程中，由于太阳直射点的变化，土星光环投下的影子位置也会跟着改变。于是对“蓝色土星”的一种解释认为，土星光环的影子使得其北半球降温，导致上层的云沉降到了土星大气看不见的深处。而此后，随着土星北半球由冬季进入春季，光环的影子也逐渐开始向赤道移动，土星北半球的大气层便失去了蓝色的基调，回归到其一贯的鹅黄色。

到2017年“卡西尼号”的探测任务行将结束时，正值土星南半球的冬季，光环的影子会落在南半球——它也会随着季节变化再次变成蓝色吗？

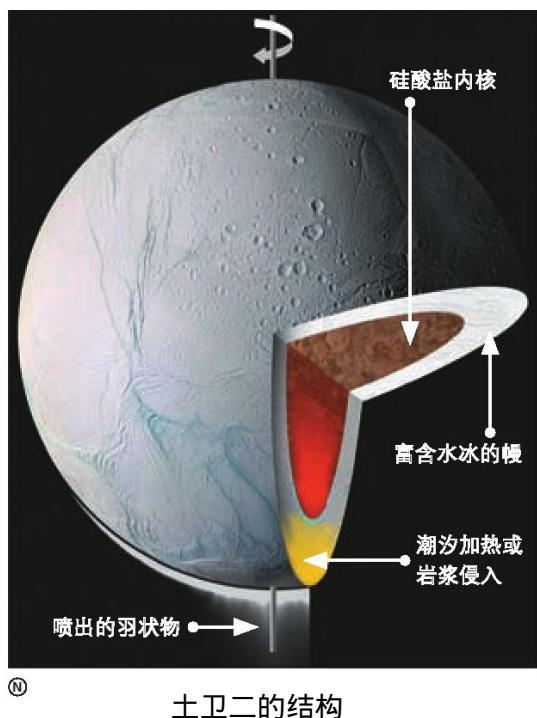


北半部呈现蓝色的土星

在这场光与影的魔术中，虽然地球上的人们看不到“蓝色土星”，但可以目睹土星光环的“消失”。在土星的春分或秋分前后，其光环的侧面就会对准地球。加上土星环非常薄，因此从小望远镜中看起来它就像消失了一样。届时，土星就会改头换面，从“光环之王”变成一块光滑的“鹅卵石”。
(谢懿)

土卫二真是“活”的吗

20世纪80年代“旅行者号”探测器两次探访直径只有504千米的土卫二之后，其观测结果就一直困扰着天文学家。土卫二表面既存在古老的陨星坑，又有大片区域为明亮而白净的冰所覆盖，这说明它极有可能存在冰火山，冰火山喷出的物质填平了许多陨星坑。土卫二就位于土星光环中稀疏的E环上，但其所在区域是E环中最稠密的区域，这是不是说明E环上的物质来自土卫二呢？

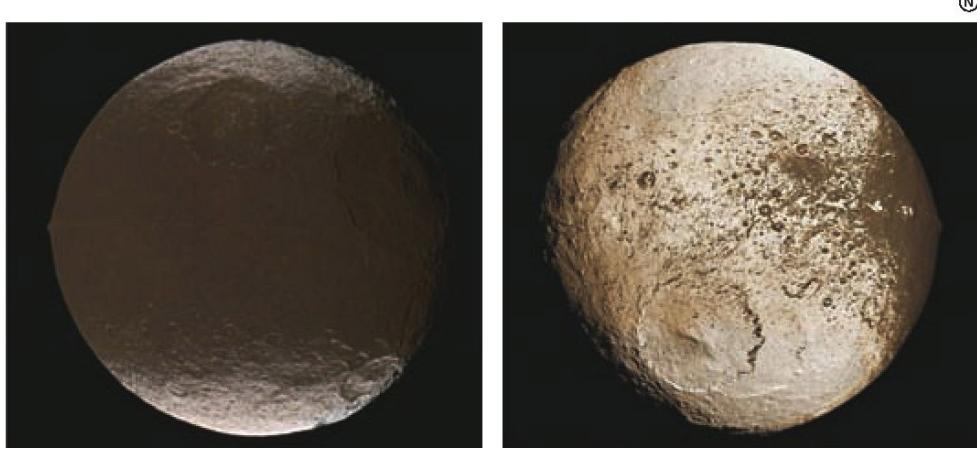


探测土星的“卡西尼号”捕捉到了土卫二令人惊叹的影像，显示其南极地区存在几条平行的长裂纹，它们后来被称为“虎皮纹”。磁场数据则显示它有稀薄的大气，暗示偶尔会有气体从这颗体型较小的卫星上逃逸出来。2005年，“卡西尼号”拍摄到了从它南极附近的裂纹中喷出的数百千米高的羽状物。红外测量探测到了与“虎皮纹”重合的温度较高区域，其他仪器则探测到了羽状物中的水汽以及二氧化碳和氨这样的气体分子。“卡西尼号”的宇宙尘埃分析仪在对E

环颗粒的采样中发现了钠，这说明在土卫二表面的冰壳之下可能存在一个海洋。“卡西尼号”的这些发现让小小的土卫二变成了今后行星际探测的主要目标。如果其表面之下隐藏着液态水，那么土卫二就拥有了我们已知的所有生命要素：液态水，有机分子和能量来源。如果真是这样，那么也可能会有微生物在喷发的过程中被喷射出来，飞过的探测器就能捕捉到它们。

然而，要想在土卫二上生存却不是一件容易的事情。土卫二的所有活动可能都源自潮汐加热。而土卫二的轨道则存在着几亿年的周期变化，由此也造成了它显著的气候周期变化。如果在最寒冷的时期土卫二的海洋完全冻结的话，那对于生命而言无疑是灭顶之灾。（谢懿）

为什么土卫八长着一张“阴阳脸”



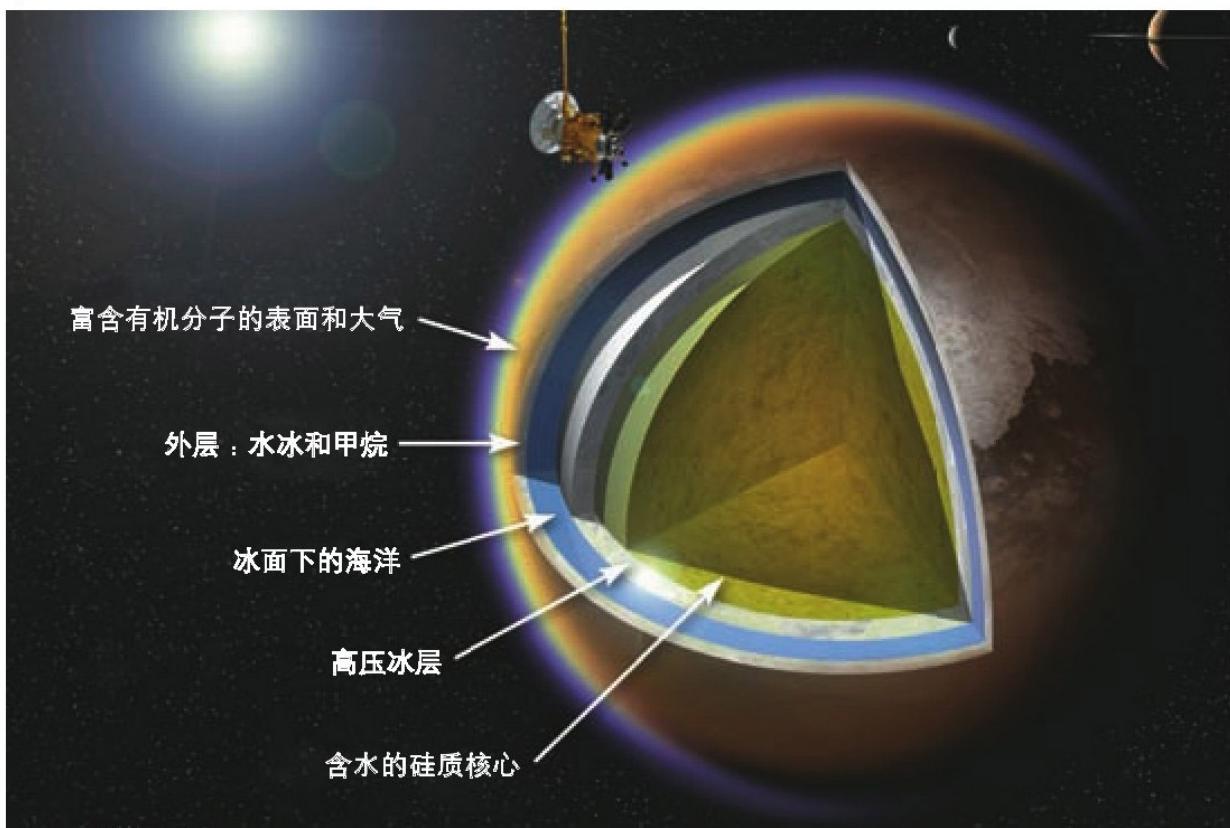
土卫八的阴阳两面

土卫八有两张迥然各异的面孔，其前导面（指向运动方向）比尾随面暗了约10倍。2004年“卡西尼号”飞越土卫八时，发现了它另一个令人费解的特点：在其赤道上有一道由明亮物质组成的山脊，高约19千米，这使得它看上去就像一个核桃。虽然有人认为这是它早先因为高速自转而留下的扁球形遗迹，但这道山脊的起源仍然不明。

不过，“卡西尼号”却为它的“两面性”提供了线索。它发现土卫八和土卫九的表面成分具有相似性，并且土卫八的深色表面是由一个只有几厘米厚的薄层物质构成。颜色较深的区域温度也较高，所以深色的物质是水冰升华成气体后所遗留下来的物质。整个过程是，深色的冰吸收较多的阳光进而升华，然后在极区和尾随面颜色较浅的地方重新凝华成霜。随着时间的推移，这一对比会更加明显，最终形成了我们看到的阴阳脸。

那么这些深色物质来自哪里？2009年10月，斯皮策空间红外望远镜发现了围绕土星的巨大光环——“土卫九环”。它是最大、距离土星最远的光环。因此土卫八和土卫九之间可能的联系得到了佐证。土卫九环中的粒子可能来自微流星体对土卫九的撞击。在过去数千年的时间里，阳光将这些颗粒向内推，落到了土卫八的身上，慢慢地为土卫八“画”了一张脸。（谢懿）

⑩



土卫六结构图

【微博士】土卫六

土卫六具有众多和地球相同的特征：湖泊、丘陵、洼地、河谷以及泥泞的平原。它厚厚的大气层主要成分为氮，其中还有雾、霾和雨云等现象，和早期的地球极为相似，因此被称为“微缩版远古地球”。这些雨、河流和湖泊实际上是液态烃，它们在温暖的地球上会变成气体，但在表面温度仅有-180°C的土卫六表面则是液体。这些湖泊中80%是乙烷，此外还有丙烷、甲烷和乙炔。

【微问题】太阳系中哪些卫星上可能有液态水？

【关键词】土星 土卫二 土卫八 土卫六

为什么土星戴着一个美丽的光环

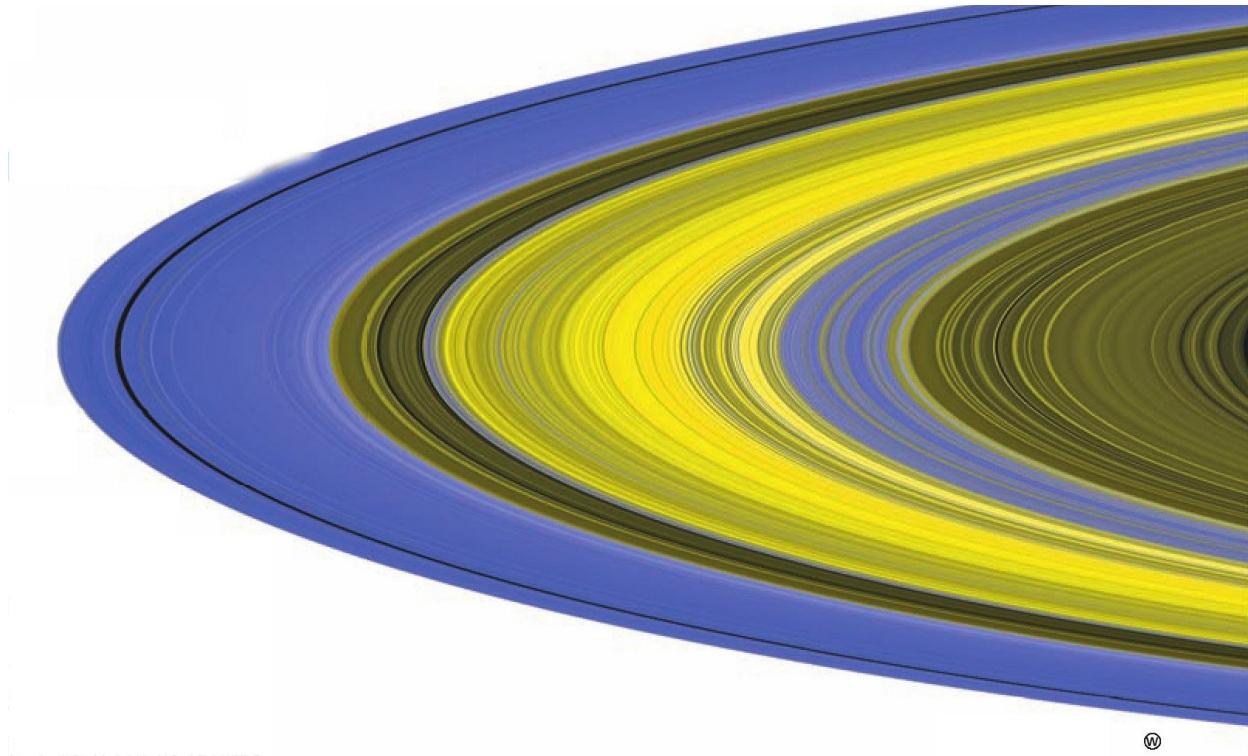
在望远镜中，土星可算得上是一个大明星，其漂亮的圆面加上环绕着它的精致光环绝对让人难忘。土星的光环占据了巨大的空间，其密度较大的主环始于土星赤道上空7000千米处，一直延伸到80000千米远。但它的平均厚度却只有10米，不过有时因土星卫星的推波助澜，它的垂直高度可以抬升到3.5千米。1675年法国天文学家卡西尼发现土星光环中有一道缝隙，后来人们把这道位于土星A环和B环之间宽4800千米的缝隙命名为卡西尼环缝，它是土星光环中最大的环缝。



土星及其光环

土星光环的90%~95%是水冰，其余是被陨石掺杂进来的尘埃及其残骸。天文学家相信土星光环在形成之初完全是由冰组成的。类似地，土星的内层卫星也异乎寻常地富含冰。过去流行的观点认为，由彗星撞击而瓦解的小型卫星是土星光环的成因。但由此形成的光环会是冰岩混合体，而非今天看到的接近纯冰的情况。因此目前新的理论把光环的形成和土星内层卫星的形成联系了起来。

先前的研究提出，土星最初拥有多个土卫六大小的卫星，但由于靠得太近而最终坠入了土星。天文学家新近通过计算机模拟发现，在坠入土星的最终阶段，土星引力对这些卫星的加热会使它们上面的冰融化，并且使它的岩石向中心沉积。当这样一颗卫星距离土星约100000千米时，引潮力会把它的外部冰层剥离并形成光环，而内部岩质核心则最终撞上土星。这一过程所产生的光环质量要比土星光环目前的质量大得多，光环宽度也宽得多。在演化过程中，它内边缘的物质逐渐流失，外边缘的物质则集聚成了土星富含水冰的几颗卫星。（谢懿）



土星光环的细节

【科学人】卡西尼

乔万尼·卡西尼（1625—1712）出生于意大利，后移居法国。1664年7月他观测到了木星卫星凌木星的现象，研究了木星的自转与木星卫星的公转。1666年他测得火星的自转周期为24小时40分（和现在的结果只差不到3分钟）。1669年他前往巴黎皇家科学院工作，1671年领导建成巴黎天文台。在巴黎天文台他发现了土星的四颗卫星土卫八、土卫五、土卫四和土卫三。1675年，卡西尼发现土星光环中间有一条暗缝，后称卡西尼环缝。他还准确地猜测了土星光环是由无数微小颗粒构成

的。美国航空航天局探测土星及其卫星的“卡西尼号”探测器，就是以他的名字命名的。



卡西尼



土星光环中的“螺旋桨”结构

自从抵达土星的那一天起，美国航空航天局的“卡西尼号”土星探测器便一直徜徉在土星及其壮观的光环中，年复一年地向地球发回大量包含着惊人细节的图像。其中最引人注目的是土星光环中类似飞机螺旋桨形状的结构。当很小的土星卫星穿行于围绕土星转动的光环时，就会产生这些痕迹。在土星宽14000千米、厚仅10米的A环中已经发现了几十个“螺旋桨”。

这些卫星本身太小了，直径只有几百米到几千米，因此即便是“卡西尼号”也无法直接看到它们。相比之下，它们产生的螺旋桨形痕迹则可达成百

上千千米长，其中一些已经被观测数年之久。它们是由于这些卫星的引力拖拽周围的物质而造成的。位于卫星轨道内侧的物质，因为更靠近土星，所以运动得较快，于是这一扰动迅速地削弱了卫星的影响，在其前方形成了一条长而窄的痕迹。这就是“螺旋桨”中的前导桨叶。与此同时，处于卫星轨道之外的物质运动得较慢，就形成了尾随桨叶。

土星的光环系统是目前所知同45.5亿年前诞生地球和其他行星的尘埃、碎石盘最相似的事物。这个原行星盘是一团由超低温气体和尘埃组成的星云在自身引力作用下坍缩形成的，在盘中作轨道运动的碎石和土星的光环系统极为相似。天文学家相信，类似螺旋桨的结构也会出现在行星形成的过程中。此外，螺旋桨结构的轨道也在不断地变化，它们有时候会往里运动，有时候又会往外运动。光环中所看到的这些复杂结构和难以置信的变化，为天文学家提供了许多有关行星形成的信息。（谢懿）

地球什么时候也能有自己的光环

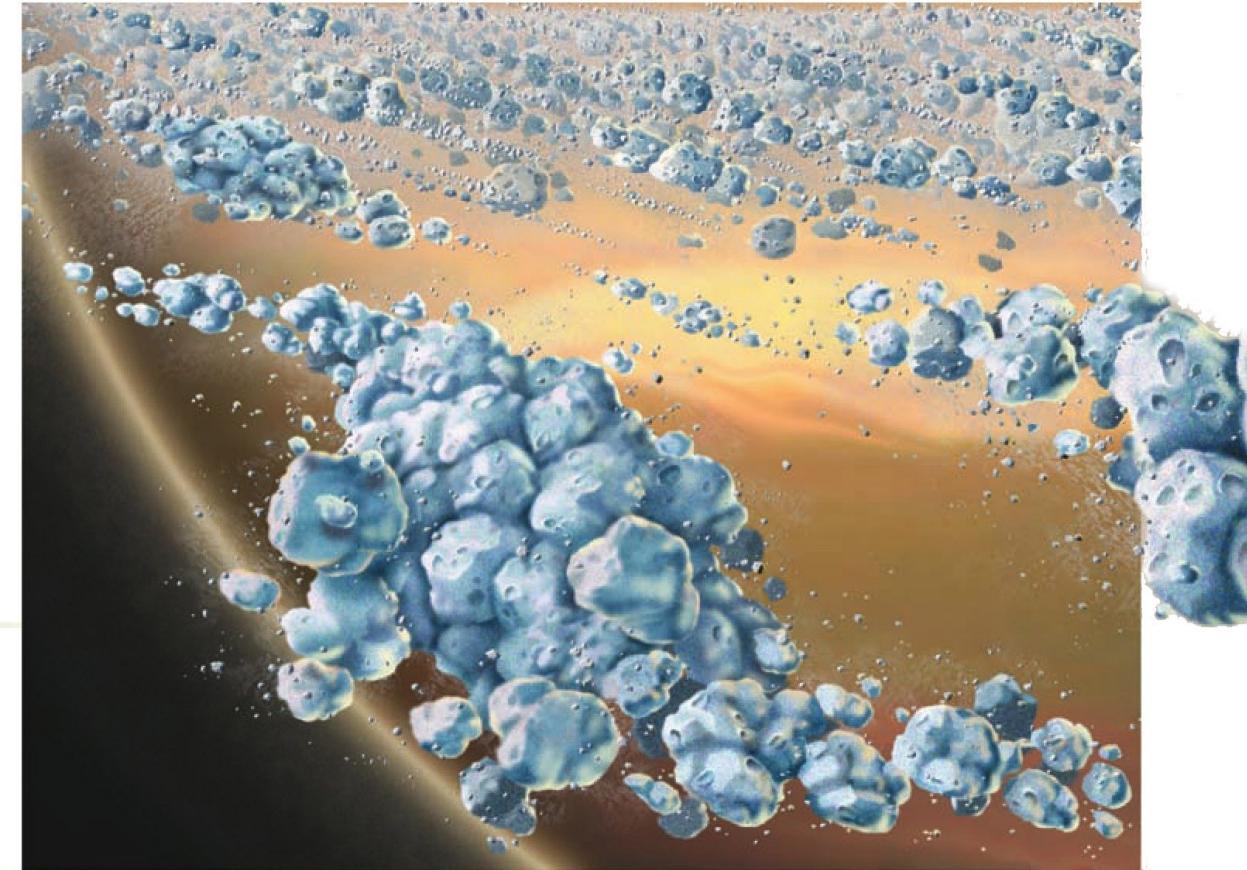
看到土星有这么美丽的光环，你也许会问：是否地球有朝一日也能拥有自己的光环呢？没错，地球也将拥有自己的光环。这个光环的原料，就是我们的月球。

由于月球引力的作用，地球被拉成一个近似的椭球体，它相对于球形的偏差被称为潮汐隆起。地球隆起的部分会对月球施加引力，在月球运动的方向上产生一个微小的分量，使得月球进入一条距离我们稍微远一些的轨道。同时，由于地球的隆起相当于是一种摩擦，会使得地球的自转减慢。最终地球会被月球潮汐锁定，那时潮汐隆起将处于地月连线上，而月球的公转周期（月）也将会和地球的自转周期（日）一样长，大约同为如今的50天。

此后，太阳的引潮力会使得地球的自转进一步减慢，“日”的长度将会

超过“月”的长度，于是就会看到月球西升东落的景象。由太阳造成的地球隆起同样也会对月球的轨道运动产生影响，不过这个影响正好与先前的相反。它会对月球施加相反的力，使得月球损失轨道能量，轨道的高度逐渐减小，最终进入地球的洛希极限（大约18500千米），被撕得粉碎，形成一个环绕地球的物质环。（谢懿）

④



近距离观察行星环，可发现主要成分是松散的冰块和尘埃

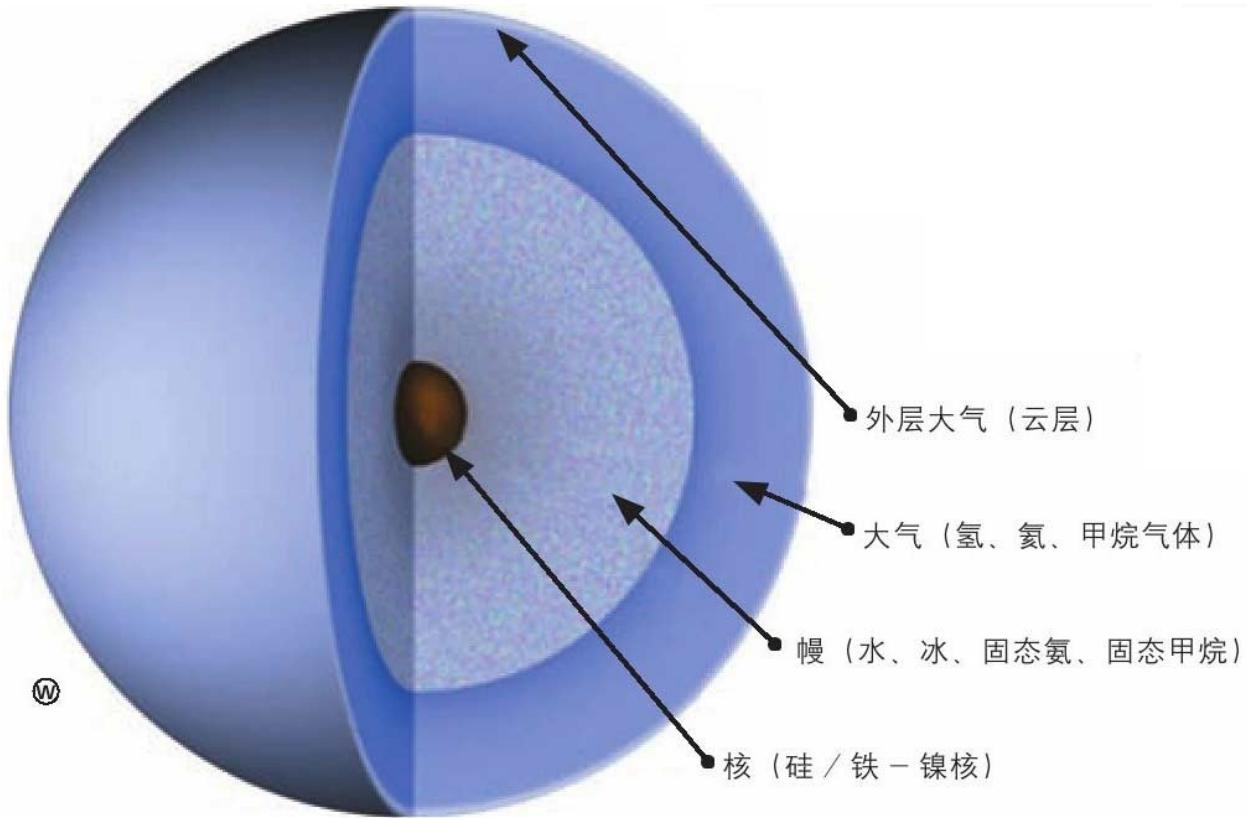
【微问题】大旋涡中能制造小旋涡吗？

【关键词】土星光环 洛希极限

为什么天王星的发现如此激动人心

1781年3月13日夜，英国天文学家威廉·赫歇尔用望远镜发现金牛座中有一颗星呈现出一个很小的圆面。他一连观测了4夜，断定此星相对于周围恒星的位置有了变化。起初他猜想，这大概是一颗尚未长出尾巴的彗星。后来，几位著名的天体力学家不约而同地推算出这个天体的运行轨道，认定它是在土星轨道以外的一颗新行星。事实上，这个天体最亮的时候是一颗5.7等星，肉眼也能勉强看见。在赫歇尔之前，它已被其他天文学家记录到17次，但每次都被误认为恒星。赫歇尔使用一架并不很大——口径15厘米、长2.1米——但性能优良的反射望远镜，弄清了它的真实面目。

作为发现者，赫歇尔想把新行星命名为“乔治星”，以表达对英国国王乔治三世的尊敬。一些天文学家提议称它为“赫歇尔”，以表示对发现者本人的敬意。但最后以神话人物命名天体的古老传统占了上风，人们将天神乌拉诺斯的名字赋予这颗新行星，汉语中称为天王星。



天王星结构示意图

多少年来，人们一直把土星的公转轨道视为太阳系的边界。现在，赫歇尔竟然发现了一颗比土星还要远一倍的新行星，人们自然为此激动不已。甚至直到35年后，英国大诗人济慈还用这样的著名诗句

“于是我感到宛如一个瞭望天空的人，

正看见一颗新的行星映入他的眼帘”

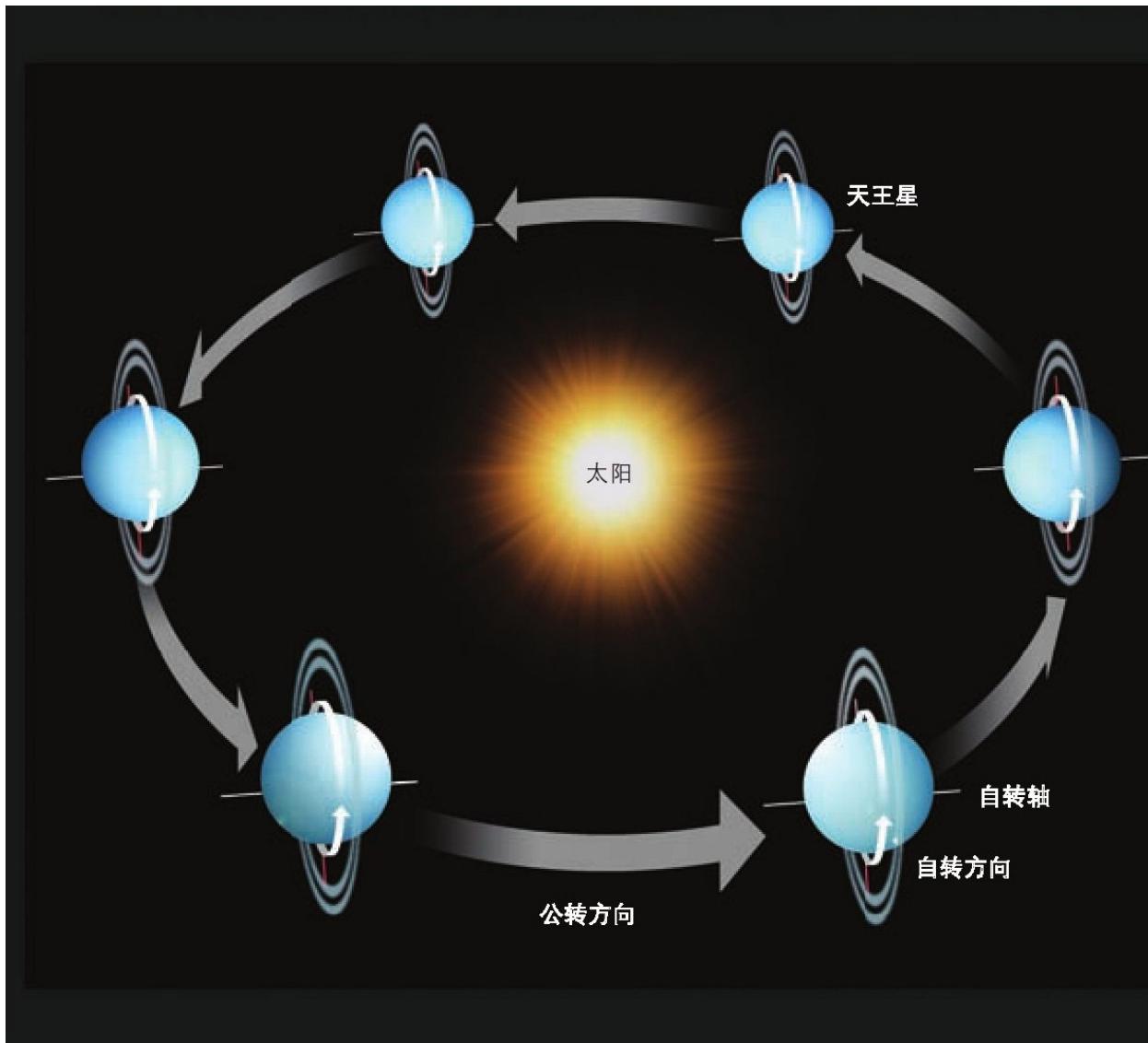
来比喻那种极端惊喜的心情。赫歇尔本人在世84年，恰好等于天王星的公转周期。（卞毓麟）



威廉·赫歇尔发现天王星的望远镜复制品

为什么说天王星是在“躺着”打滚

天王星到太阳的距离为日地距离的19.2倍。在天王星上看到的太阳圆面，其面积只有从地球上看到的1/370。但是太阳在天王星的天空中，仍比地球上的中秋明月要亮900倍。天王星的直径51000多千米，差不多是地球直径的4倍，在八大行星中仅次于木星和土星。天王星上也有大气，大气深处有厚厚的云层。天王星物质的平均密度是水的1.3倍，比地球的密度小得多。



⑤

天王星公转和自转示意图

最有趣的是天王星的自转。天王星自转一周约需17小时14分钟。它的

自转轴几乎躺倒在公转轨道平面上，因此天王星仿佛总是在躺着打滚。这种情况使天王星上的昼夜和季节与地球上的大不相同。在天王星上，北半球处于夏季的时候，它的北极差不多正对着太阳，整个南半球完全处于黑暗和寒冷之中。相反，当北半球处于冬季时，南极差不多就正对着太阳。

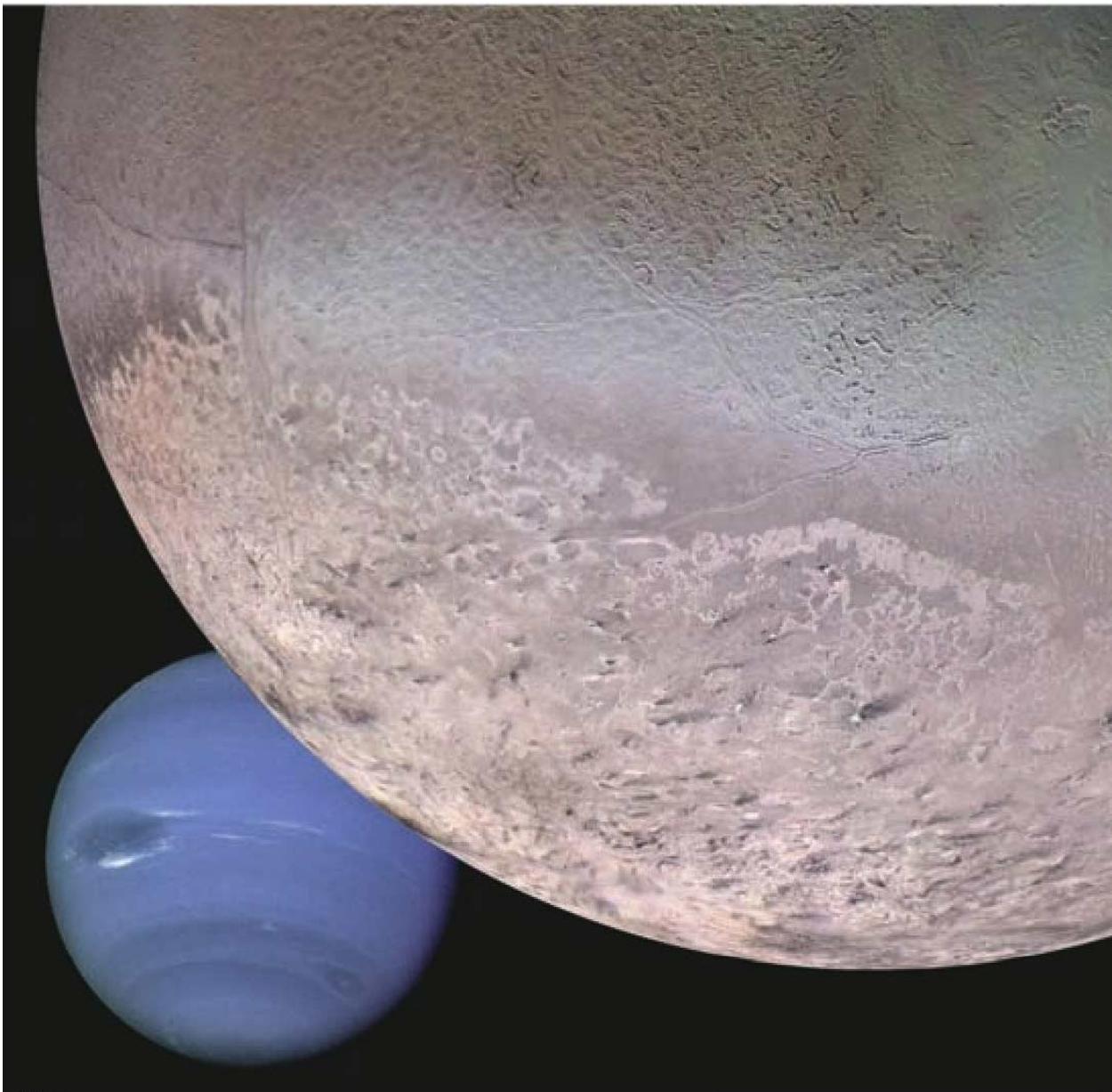
天王星有27颗卫星，其中最大的是天卫三和天卫四，直径分别约为1580千米和1520千米。它们都是威廉·赫歇尔在1787年发现的。（卞毓麟）

【微博士】天王星环的发现

1977年3月10日，天王星从一颗恒星前方经过。天文学家发现它还没有遮住这颗恒星时，此恒星的光就变暗了几次。他们仔细查找这种现象的起因，最终肯定天王星周围存在着一组环，正是这些环依次遮蔽了星光。后来进一步弄清，天王星共有彼此分开的11道环。它们都很细，最宽的也不到100千米。这些环由很细小的微粒组成，其物质可能源自天王星的某些卫星，因撞击而被抛射出来。

为什么说海卫一是一颗很特别的卫星

在海王星的14颗卫星中，海卫一是最大的一个。1846年发现海王星之后17天，英国天文学家拉塞尔就发现了海卫一。它的直径约2710千米，距离海王星35.5万千米，比月球到地球还近。海卫一公转一周只需5.88天，比月球跑得快多了。如同我们的月球总是以同一面对着地球那样，海卫一也总是以同一个半球朝向海王星。



⑩

海卫一和海王星（左下方）

海卫一最显著的特征是它的公转方向同太阳系中其他所有的大卫星——包括月球——的公转方向相反，也同行星的公转方向相反。这在天文学上称为“逆行”。目前海卫一的公转轨道正在不断缩小，依此推算，几千万年后它有可能会陨落到海王星上。海卫一还有一点也很奇特：它很寒冷，表面温度约为 -235°C ，但在地质上却相当活跃，有着类似于活火山那样的间歇喷泉。喷流有时高达8千米，差不多有珠穆朗玛峰那么高，喷出的是气体氨、冰晶，还有一些有机化合物和岩石。（卞毓麟）

【微博士】海王星环的结构

1989年8月，美国的“旅行者2号”宇宙飞船到达海王星附近，拍摄到海王星有5道环。它们分别以同海王星和海卫一关系最密切的5位天文学家命名。最外面的“亚当斯环”宽度小于50千米。次外面的“阿拉戈环”宽约100千米，很暗。再往里是宽达4000千米的“拉塞尔环”，其外边缘同阿拉戈环相连，内边缘同最亮的“勒威耶环”相接。最里面的“加勒环”宽2000千米，也很暗。

【微问题】天王星为什么会“躺着”打滚？

【关键词】天王星 行星环 海卫一

为什么说海王星是“在笔尖上发现的新行星”

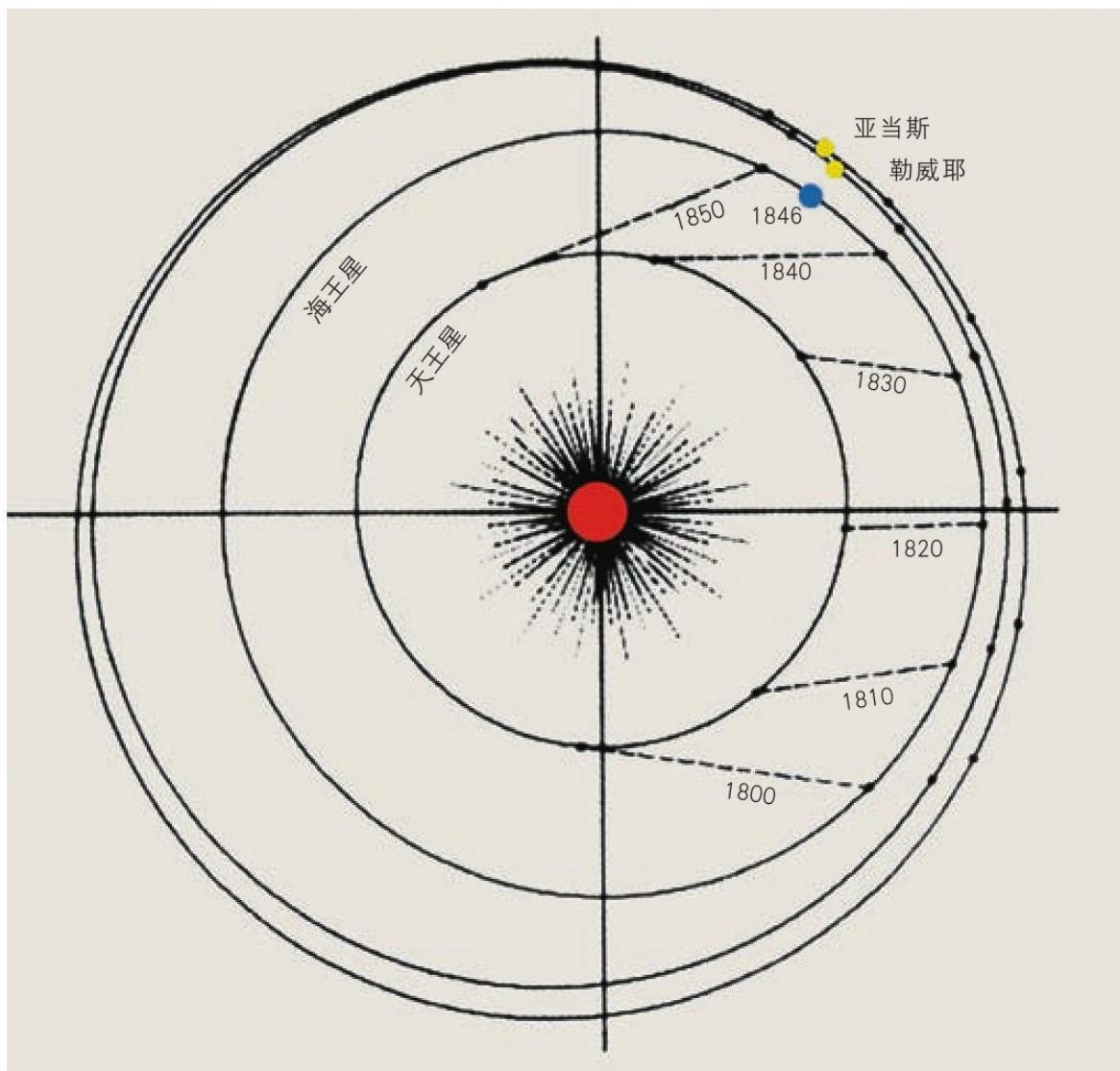


海王星

300多年前，英国科学家牛顿发现了万有引力定律。用它来计算行星的运动，人们可以准确地预告火星、木星、土星等行星在天空中的位置。但是用同样的方法推算天王星的位置，却老是跟观测结果不大符合。天文学家为这件事伤透了脑筋。

于是有人怀疑，万有引力定律是不是不灵了？但更多的人认为：万有引力定律是经得起考验的，对天王星也同样适用。看来，一定是在天王星轨道外面还有一颗尚未露面的行星，在用自己的引力影响天王星的运动。

这颗同天文学家“躲猫猫”的行星离我们比天王星还远，看来一定很暗弱，想在茫茫星空中找到它可不是容易的事情。然而，谁也想不到竟有两位年轻人各自独立地攻克了这个难关。他们不是用望远镜，而是用笔和纸找到了这颗遥远的行星。这两个年轻人就是法国人勒威耶和英国人亚当斯。



①

海王星在1846年所处的位置



勒威耶



亚当斯

1841年7月3日，剑桥大学22岁的学生亚当斯在日记中写道：“拟在获得学位后立即着手研究天王星运动的不规则性，以查明它是否起因于天王星外面一颗尚未发现的行星的干扰。”

在法国，勒威耶受巴黎天文台台长阿拉戈的启发，在1845年挑起了研究天王星运动反常的重担。

两位年轻人开始了一场有趣的科学竞赛，更有趣的是他俩谁都不知道在别的国家还有一个跟自己竞赛的对手。

1845年10月，亚当斯经过将近两年的计算，满怀希望地把研究结果送给英国皇家天文学家艾里。但是，艾里没有认真对待。亚当斯留下的那份报告，就一直躺在艾里的抽屉里。

1846年6月，勒威耶完成了自己的计算，并把论文寄给欧洲一些重要的天文学家。艾里也收到了勒威耶1846年6月发表的论文。他发现这同亚当斯

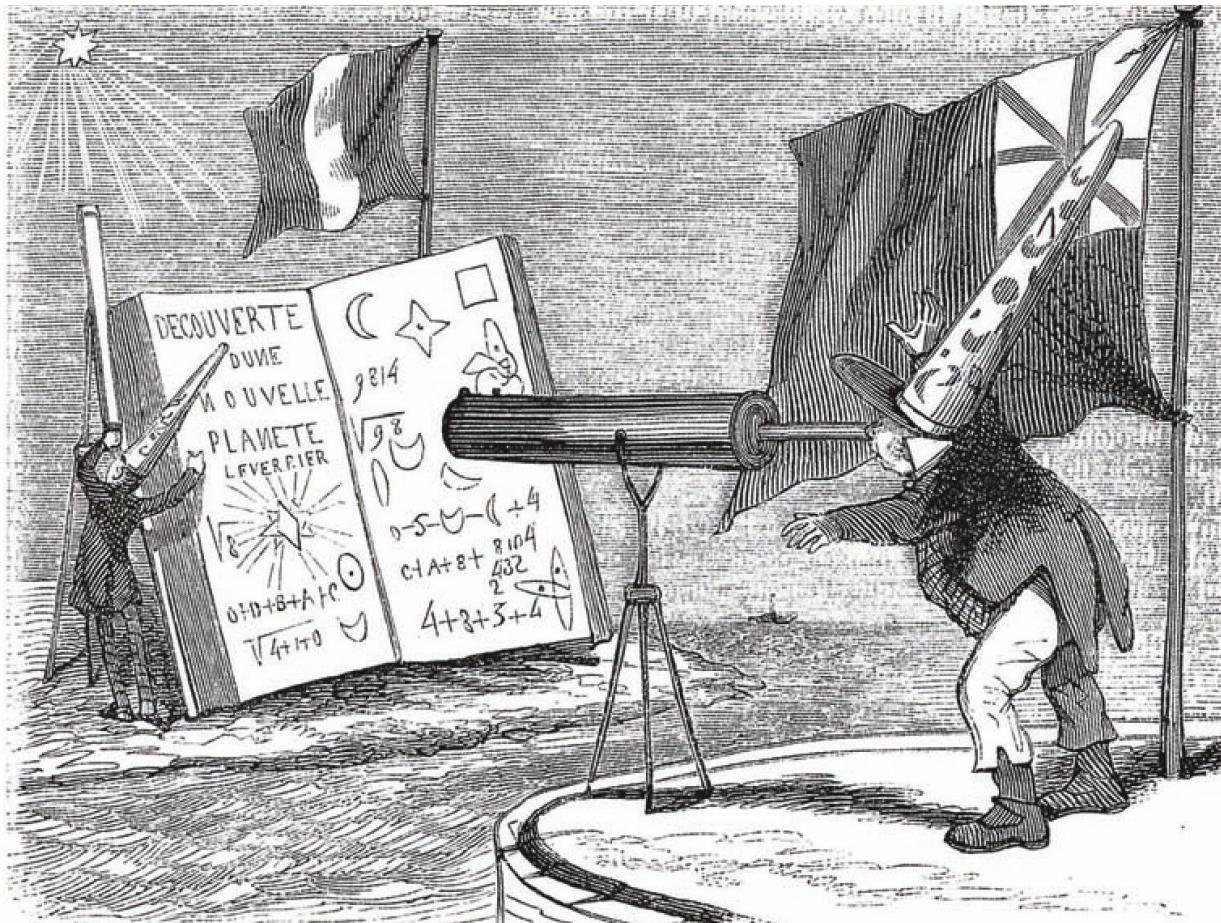
早先的计算结果几乎完全一致！于是他请剑桥天文台台长查利斯赶快用天文望远镜进行搜索，但是查利斯的工作进行得十分缓慢。



加勒

当年9月23日，德国柏林天文台的天文学家加勒收到勒威耶请求用天文望远镜进行搜索的来信。当天晚上，加勒就和助手达雷斯特一起把望远镜指向勒威耶指定的那片天空。在宝瓶座中，他们果然找到了这颗“躲猫猫”的行星，与勒威耶预言的位置只差 1° 左右。第二天晚上，他们再次核对，证明自己的发现正确无误。9月25日，加勒写信给勒威耶，宣布了这个激动人心的消息：“您给我们指出位置的那颗行星是真实存在的。”

直到那时，艾里才后悔自己不该怀疑亚当斯对海王星位置的推算和预告。查利斯也很懊丧：两个月来他已经两次记录下这颗新行星的位置，却没有及时分析，而把它错当成恒星了。阿拉戈建议将新行星命名为“勒威耶”，但是勒威耶谦虚地拒绝了。根据用希腊神话人物命名行星的惯例，人们用大海之神的名字纳普顿命名了这颗新行星，汉语中定名为“海王星”。它略带蓝色，和大海的颜色正好相配。



①

法国的讽刺画：英国人在勒威耶的报告中找到了海王星

英国的维多利亚女王为了表彰亚当斯预告新行星的贡献，打算向他授予爵位。但是，亚当斯婉言谢绝了。他说：“这是科学巨人牛顿曾经获得的荣誉，我同牛顿是无法相比的。”亚当斯和勒威耶各自从笔尖上发现了海王星，为共同的事业做出贡献，后来成了好朋友。

海王星同太阳的距离，是地球到太阳距离的30倍。它在自己的轨道上绕太阳公转一周需要花费164.8年。从1846年被发现直到2011年，海王星正好绕太阳转了一圈。（卞毓麟）

【科学人】发现海王星的人

英国天文学家亚当斯（1819—1892）出身贫寒。在剑桥大学求学期间经常课余做家教，挣钱寄

给双亲。1845年推算出海王星的运动轨道，但没有写成论文。1858年成为剑桥大学天文学教授，1860年任剑桥天文台台长。1892年逝世。

法国天文学家勒威耶（1811—1877）出生在一个小公务员之家，父亲变卖了房屋供他上学。1846年发表推算海王星轨道和位置的论文，并邀请其他天文学家协助搜寻。1854年任巴黎天文台台长。1877年逝世。

德国天文学家加勒（1812—1910）工作到83岁才退休。1846年9月23日发现海王星。1910年，98岁的加勒在去世前不久再次看到哈雷彗星回归。这颗著名的大彗星前一次回归是在1835年，加勒曾对它专门进行了研究。

【微博士】优先权

英法两国科学家为发现海王星的优先权而激烈争论。巴黎天文台台长阿拉戈盛赞勒威耶“为祖国争得了光辉，为子孙赢来了荣誉”。英国著名天文学家约翰·赫歇尔发表公开信，声称勒威耶只是重复了亚当斯早已完成的计算。艾里因为未重视亚当斯的推算结果而广受谴责，查利斯也因耽误新行星的搜索成了反面教员，加勒和达雷斯特及时而精确的天文观测则受到了普遍的赞扬。

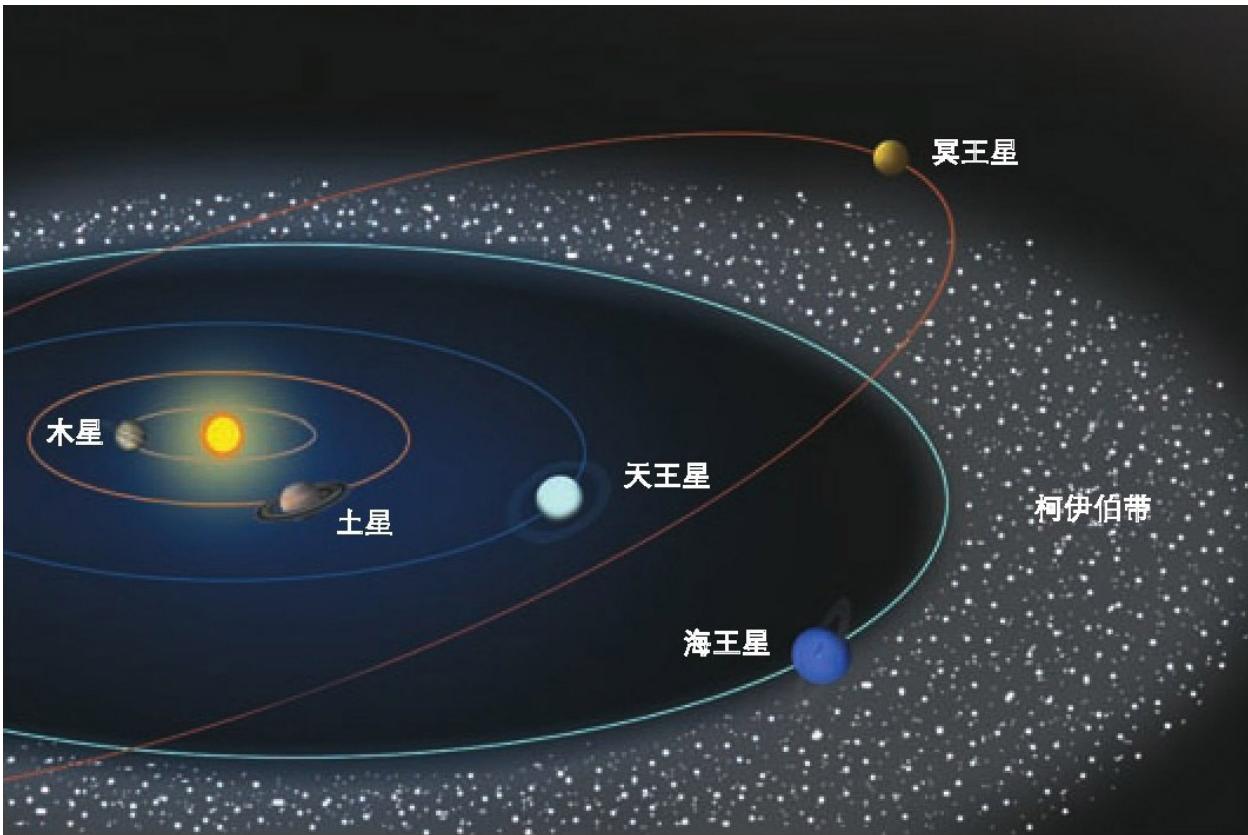
【微问题】艾里为何不相信亚当斯的计算？

【关键词】海王星 万有引力定律

为什么人们总是对冥王星的身份提出疑问

冥王星是美国洛厄尔天文台24岁的天文学家汤博在1930年初发现的。人们曾经为命名这个新天体提过许多聪明的建议。1930年5月1日，洛厄尔天文台台长维克托·梅尔文·斯莱弗正式宣布将它命名为普鲁托——罗马神话中的冥神。这个名字是英国牛津一位11岁的女孩维尼夏·伯尼提议的，她觉得这很适合于一个永处幽暗与寒冷中的星球。在汉语中，它按意译定名为“冥王星”。

冥王星到太阳的距离差不多是日地距离的40倍，所以接收到的太阳光非常微弱，即使面向太阳的地方温度也低到-220°C，除了氢和氦等极少几种气体外，其他气体物质都会凝成液态或固态。冥王星的直径仅2280千米。冥王星公转一周需要248年，它从发现至今才绕太阳转了1/3圈。冥王星有5颗卫星。最大的一颗是美国天文学家克里斯蒂于1978年发现的。人们将它命名为“卡戎”——希腊神话中在冥河上运渡亡灵的艄公的名字，在汉语中定名为“冥卫一”。美国航空航天局2005年通过哈勃空间望远镜发现了冥卫二和冥卫三，2012年又发现了冥卫四和冥卫五，它们都很小，直径都只有几十千米。



①

冥王星轨道和柯伊伯带示意图

人们曾将冥王星看作太阳系的第九颗行星，但是种种问题很快就来了。

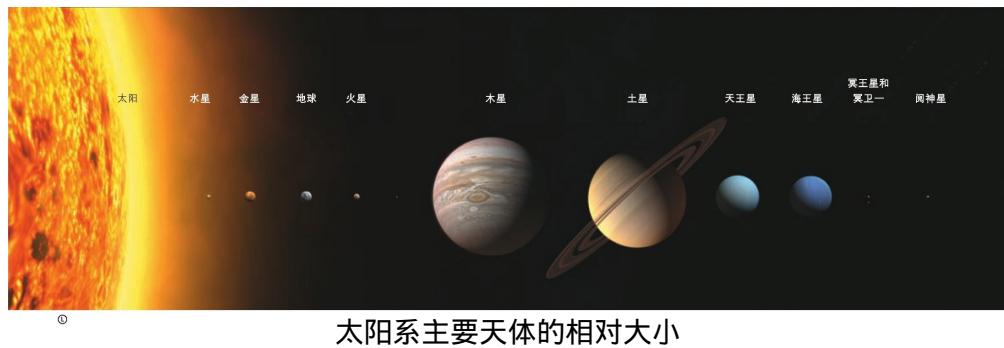
相比起太阳系的其他行星，冥王星实在是太小了。论体积，我们的月亮也顶得上三个半冥王星那么大。冥王星的物质密度是水的2倍，比地球的平均密度小得多，大约500个冥王星才抵得上1个地球那么重。

行星都在接近正圆的椭圆轨道上环绕太阳运行，冥王星的轨道却要扁得多，它经过近日点的时候竟比海王星离太阳更近。也就是说，它与海王星的公转轨道彼此交错，而这在行星中是没有先例的。而且，行星的公转轨道平面都很接近黄道面，冥王星的公转轨道平面与黄道面的夹角却达 17° 之多。

此外，在原先已知的8颗行星中，离太阳较近的水星、金星、地球和火星（统称为类地行星）体积都较小，但密度相当大；离太阳较远的木星、

土星、天王星和海王星（统称为类木行星）体积都很大，密度却很小。冥王星离太阳更远，个子却特别小，密度倒比类木行星大。这些情况也使人们产生疑问：冥王星究竟是不是一颗名副其实的行星？

其实早在1936年，英国天文学家里特顿就提出：冥王星原先很可能是一颗与海卫一一起绕海王星运行的大卫星。它一度靠近了海卫一，它们在万有引力的相互作用下改变了运动状况，结果冥王星脱离了海王星而成为第九颗大行星，海卫一则由于受到反向的冲力而成为一颗逆向运行的反常卫星。



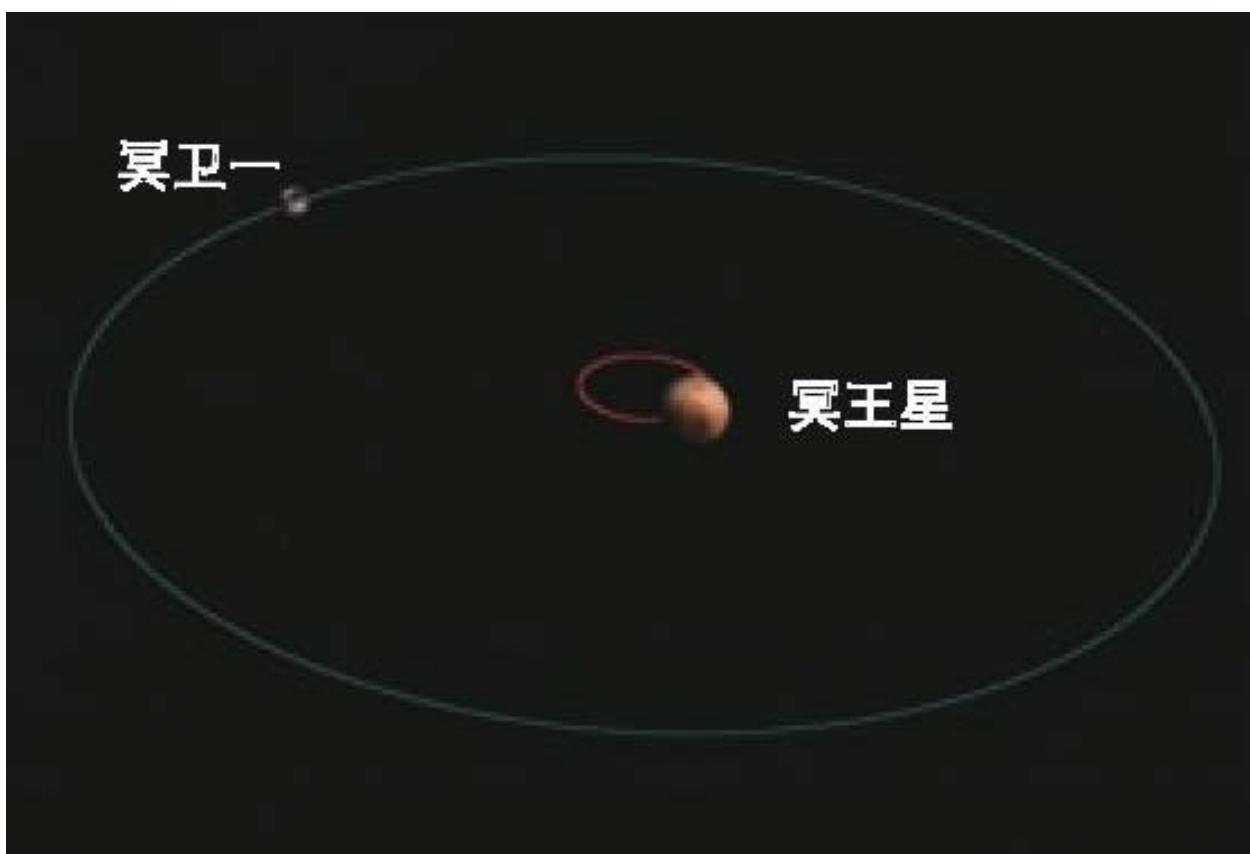
1978年冥卫一发现后，很快就有人提出一种新颖的理论：过去某个时候，有一颗质量比地球大三四倍的未知行星途经海王星的卫星系统，猛烈的引力扰动将冥王星抛了出来，同时还从它身上撕出一大块物质，后来形成了冥卫一。这颗“闯了大祸”的行星本身则跑到了离太阳很远很远的地方。

20世纪90年代以来，天文学家陆续发现了一批柯伊伯带天体，它们与冥王星很相似。特别是阋神星的“个头儿”甚至比冥王星还大。这种局面最终导致国际天文学联合会在2006年通过决议，将冥王星重新归类为“矮行星”。就在那年1月，美国发射了第一个冥王星探测器“新视野号”。它将于2015年飞抵冥王星附近，对冥王星、冥卫以及柯伊伯带进行近距离的考察。到那时，对太阳系中这个遥远的区域，我们就可以知道得更详细了。

（卞毓麟）

为什么冥王星和冥卫一曾被看成“双行星”

冥卫一是冥王星最大的卫星，直径为1200千米，超过冥王星直径的一半，质量为冥王星的1/10。冥卫一同冥王星仅相距19130千米，相当于月地距离的1/20。冥卫一每6天9小时17分钟环绕冥王星公转一圈，这恰好与冥王星的自转周期完全相同，而且冥卫一的公转轨道平面又与冥王星的赤道平面正好重合，这就使冥卫一永远固定在冥王星赤道上空的某一点，既不上升也不下落，就像我们地球赤道上空的同步人造卫星一样。在整个太阳系中，像冥卫一这样的天体同步卫星至今还没有发现第二颗。同时，冥卫一还始终以同一面朝着冥王星，因此，它们就像两个人“手拉手、面对面”地跳舞，谁也看不见谁的后脑勺，这在太阳系中又是独一无二的。



冥王星和冥卫一互相绕转的轨道



(N)

冥王星和冥卫一的大小比例

冥卫一各方面都和冥王星相差不多，而且它们又挨得很近，所以它们不太像“主仆”，倒像是“兄弟”。不少天文学家曾因此认为，与其说冥王星和冥卫一是一个“行星——卫星”系统，还不如把它们当成“双行星”更好。那么，如今是不是可以称它们为“双矮行星”了，你说呢？（卞毓麟）

【科学人】汤博

克赖德·汤博（1906—1996），美国天文学家。少时家贫未上大学。他酷爱天文学，便用父亲农场里的机器零件自制一架望远镜，将它指向夜空……1929年，汤博到洛厄尔天文台工作，致力寻找“海王星外的行星”。1930年初，在历尽艰辛之后他终于确定自己发现了一颗“新行星”——冥王星。1932年汤博圆了大学梦。他于1939年取得硕士学位，从1965年起成为天文学教授，90岁时与世

长辞。

【微问题】冥王星一共有几颗卫星？

【关键词】冥王星 冥卫 矮行星



汤博和他自制的望远镜

为什么太阳系中有那么多的小行星

1766年，德国科学家提丢斯发现，如果写下这样一串数字：0，3，6，12，24，48，将其加上4，然后除以10，就得到了0.4，0.7，1.0，1.6，2.8，5.2，10.0。如果用日地间距离（即天文单位）为计算单位，那么这个数组中除了2.8以外，其余都十分接近当时已知的行星同太阳的距离：0.387（水星）、0.732（金星）、1.000（地球）、1.520（火星）、5.20（木星）、9.54（土星）。1772年，德国天文学家波得再次介绍了这一规律，这一规律于是被称为“提丢斯-波得定则”。

提丢斯-波得定则发现以后，很多天文学家相信，在火星与木星之间，与太阳距离2.8天文单位的地方，应该有一颗未被发现的行星。于是纷纷把望远镜对准了那片区域。1801年，意大利天文学家皮亚齐在距太阳2.77天文单位的轨道上发现了谷神星，符合提丢斯-波得定则，但它的直径还不到1000千米，和已知的大行星相去甚远。1802年和1807年，德国天文学家奥伯斯又在谷神星的轨道附近发现了智神星和灶神星，1804年，德国天文学家哈丁在距太阳2.67天文单位处发现了婚神星。其后在这个区域发现的小行星越来越多。1868年达到100颗，1879年达到200颗，1890年达到287颗……今天在这个区域中观测到的小行星已经数以十万计。绝大部分小行星的直径小于1千米，它们大多集中在距太阳2.1～3.5天文单位的地方，这个区域也被称为小行星主带。在这个区域内的小行星数量，可能占太阳系所有小行星的98%以上。

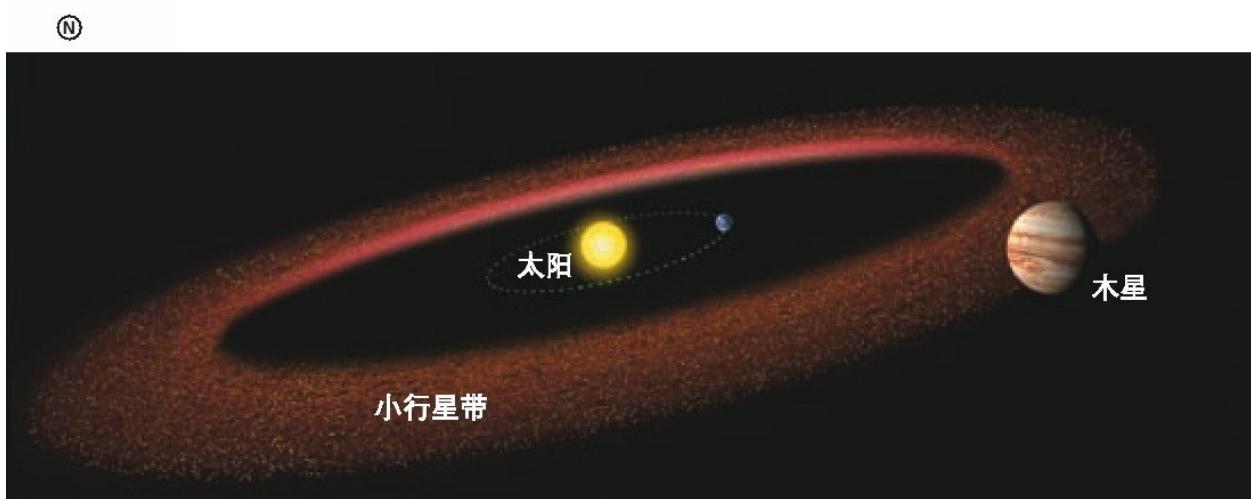


可以看到小行星带的内圈有一个明显的边界，这被称为“雪线”，是水、冰等物质冻结和被太阳光挥发的分界线^④

小行星主带补上了提丢斯-波得定则中所“空缺”的那个轨道，因此有些天文学家认为小行星是原来运行于这个轨道上的一颗大行星碎裂而成的。但是小行星主带中所有小行星的质量加起来也没有月球的质量大，而且如果是碎裂形成的，那么小行星的轨道应该能相交在碎裂点上，但事实上小行星的轨道相差很大；另外，不同小行星的化学成分也相差很大，这是“大行星碎裂说”难以解释的。近几十年来，当科学家们能够用计算机数值模型来模拟太阳系的演化过程时，另一种假说得到了更多人的承认。那就是“边角料”模型，即小行星是太阳系形成初期的行星盘的残留物。这个模型认为，太阳系形成之初，有一个由尘埃和气体组成的行星盘。盘中的尘埃不断碰撞、形成了较大的星子，星子又在碰撞中不断合并，变得越来越大。大的星子容易吸积周围的物质，就会变得更大，太阳系的大行星就是这么形成的。但是在小行星主带上的星子却很不幸，因为它边上先形成了一颗质量巨大的木星。当木星的公转周期与小行星主带中的星子的公转周期之比为一些特定的数值时，便会产生“轨道共振”现象。星子或小行星和木星产生轨道共振的话，它的轨道就会受到强烈的扰动。而且太阳系历史上还曾出现过木星和土星这两个巨大行星共同产生的“超级轨道共振”。这些大

行星的引力作用会把小行星主带中的星子往各个方向抛射开去，因此那里的星子就无法像其他行星一样不断长大。所以这些“边角料”就一直以原始的形态残留在小行星主带中了。（柴一晟）

【微博士】木星对小行星带的影响

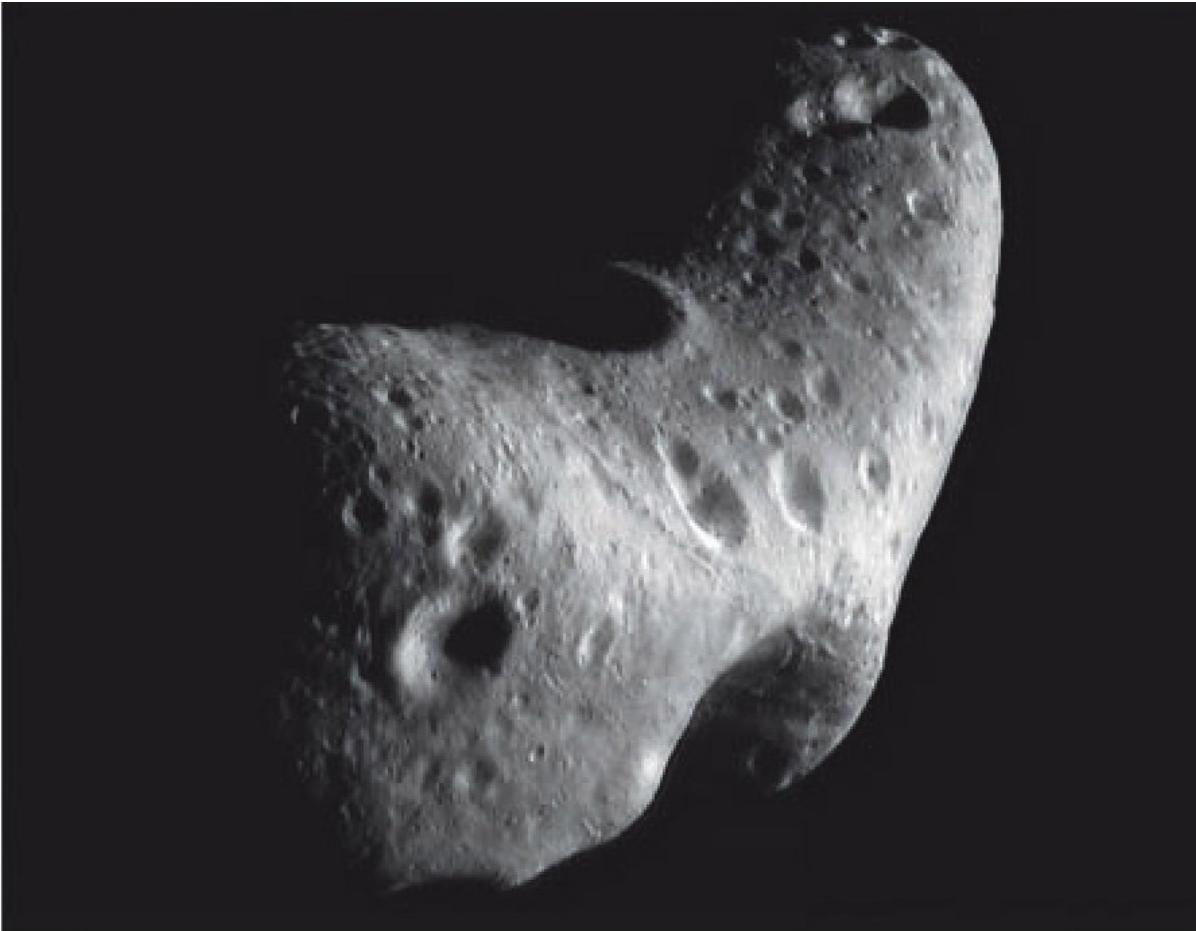


木星与小行星带的距离正好发生轨道共振，所以才会形成今天所见的小行星带。如果木星轨道穿过小行星带，就会把小行星散射到各处；如果木星离得太远，小行星就会更稠密，小行星带也不会是今天这个样子。

小行星是怎样命名的

在所有天体中，只有小行星是可以由发现者提议命名，并且最终为世人公认的。小行星的命名过程就像我们给家里新生的小猫起名字，见下表：

步骤	猫的主人	天文学家
1	猫生了小猫	发现了新小行星
2	给小猫临时起个名字，比如“小黑”等	小行星获得年份、字母和数字组成的“暂定编号”
3	如果小猫能健康成长	如果小行星能再被观测到至少两次，使得轨道可以被准确测定
4	考虑一个永久的名字（当然，一般就是临时名字，因为已经叫顺口了）	轨道被测定得足够精确之后，小行星获得一个正式的数字编号，发现者提出命名申请
5	家人和朋友都接纳了这个永久名字	命名申请被国际天文学联合会采纳，正式使用



◎

“长相”奇特的第433号小行星爱神星

比如紫金山天文台在1955年发现了一颗小行星，首先通报给国际天文学联合会小行星中心，获得了临时编号1955DA，其后经过20年的努力，又在1965年和1975年观测到了它的另外两次回归，也分别获得临时命名1965YN和1975SD。当精确测得它的轨道后，获得一个正式编号2197。紫金山天文台将一份命名申请和一段说明提交国际天文学联合会小天体命名委员会，申请将它命名为“上海”。这个委员会由来自世界各国的15名天文学家组成，命名申请必须由他们全票赞成才能算通过。命名申请通过后，被刊登在国际天文学联合会小行星中心每月发布的《小行星公报》上，这样，小行星2197“上海”星的名字就正式被全世界确认了。中国人按这种程序命名的第一颗小行星是天文学家张钰哲在1928年发现的“中华”星，编号是1125号。（叶泉志）

【微博士】小行星会撞上地球吗

轨道与地球轨道相交的小行星称为近地小行星。直径1千米以上的近地小行星可能对地球产生重大威胁，6500万年前的生物大规模灭绝事件可能由一颗直径10千米左右的小行星撞上地球造成。现在已经确定轨道的、直径大于1千米的近地小行星约有2000颗，它们存在撞上地球的可能性。据估计，这样的碰撞事件平均50万年发生一次。小行星掠过地球的机会就更多了。2011年，直径400米的小行星2005YU55就曾在与地球相距32.5万千米处掠过。因此，美国航空航天局喷气推进实验室于1995年启动了近地小行星跟踪计划（英文名为NEAT），来监视这些可能的威胁。喷气推进实验室把观测数据公开到网上，有兴趣的朋友也可以登录网址<http://neat.jpl.nasa.gov>，为消除来自太空的威胁尽自己的一份力量。

【微问题】轨道共振为什么会被小行星抛射出去？

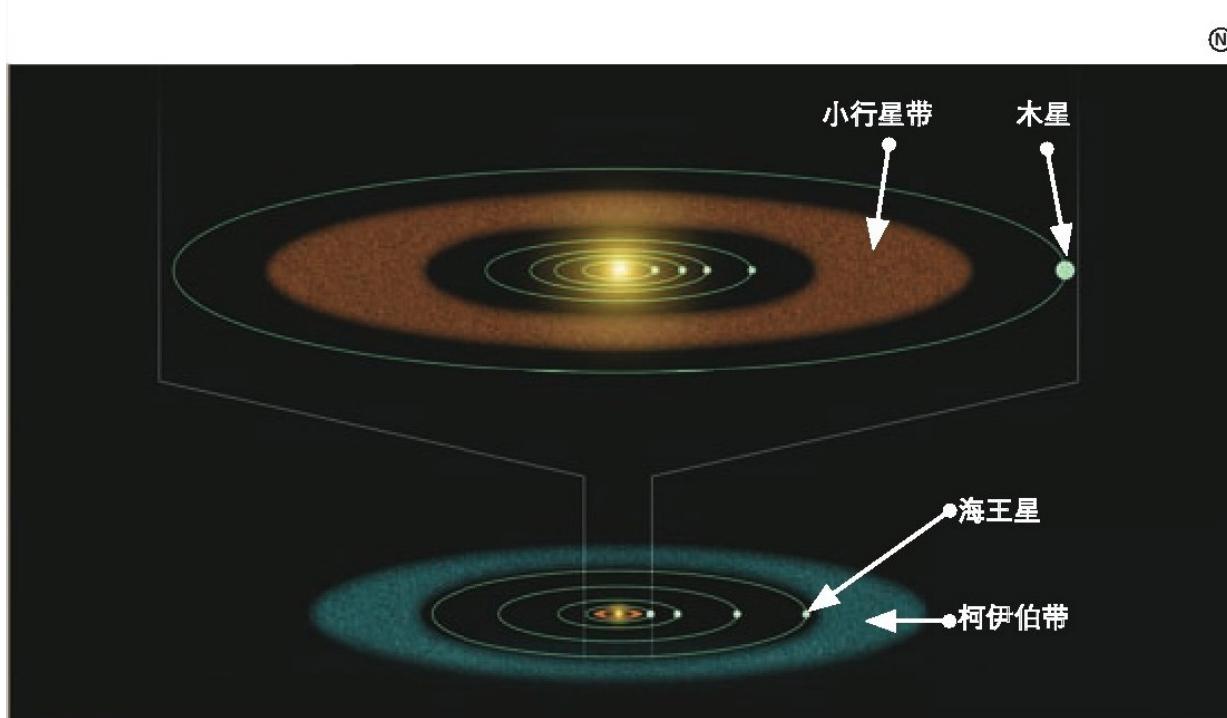
【关键词】小行星带 提丢斯-波得定则 轨道共振



为什么会有柯伊伯带

早在20世纪上半叶，天文学家柯伊伯等人就猜测在太阳系的外围存在一个由遥远的天体组成的带，后人将其命名为柯伊伯带。1992年，天文学家终于发现了第一个柯伊伯带天体，它绕太阳公转的轨道完全处于海王星轨道之外。

按照目前的理论，太阳系的行星形成于原始气体尘埃盘中。尘埃通过吸积先长成星子。它们是从尘埃到行星的中间阶段。当盘中某些区域的物质太少，因而无法形成行星的时候，这些星子就会保留到今天。这很有可能就是柯伊伯带的成因，由于其物质密度较低且位于如此远的距离，其中的天体在比冥王星还小的时候吸积过程就停止了。



小行星带和柯伊伯带

然而，这个大的框架并不能解释观测到的一些细节。例如，柯伊伯带天体的总质量非常小——大约只有地球质量的 $1/10$ ，而理论预期的值是观

测值的100多倍。为了解释这些消失的质量，有些人提出，柯伊伯带天体由于相互碰撞变成了尘埃，进而在太阳光的推动下被驱逐出了太阳系。其他人则认为，柯伊伯带天体原先形成于现在海王星轨道附近，后来才迁移到了现在的位置，而且原始柯伊伯带中的物质几乎已经被清空，只留下了极少量的天体。



已知最小的柯伊伯带天体直径还不到1000米（想象图）

N

柯伊伯带质量的缺失并不是唯一的谜题。由于离开太阳系中其他天体都比较远，而且也没有遭遇过大天体的强引力扰动，所以柯伊伯带天体被认为应该拥有近似圆形并且和太阳系行星共面的轨道。但事实上，很多柯伊伯带天体有着大椭圆的轨道，相对于行星的轨道面也具有较大的倾角。一些行星科学家的观点是，这些天体形成于更靠近太阳的地方，原始海王星的向外迁移而引发的近距离引力交会，将这些天体向外推到了现在的位

置。如果当初在现在海王星的外侧存在一个总质量更大的天体带，那么海王星将会迁移到比现在更远的地方，进入现在的柯伊伯带区域。（谢懿）

【科学人】杰勒德·柯伊伯



柯伊伯（1905—1973），生于荷兰，卒于墨西哥。1933年在荷兰莱顿大学获得博士学位，同年前往美国。他发现火星大气中含有二氧化碳，土星最大的卫星土卫六的大气中含有甲烷和氨。在20世纪50年代，他和其他天文学家一起预言，海王星轨道以外的太阳系边缘地带，充满了冰质的小天体，它们是原始太阳星云的残留物，也是短周期彗星的来源地。

矮行星有什么地方不如行星

根据国际天文学联合会对“行星”和“矮行星”的定义，矮行星同行星最大的区别就在于“尚未清空其轨道附近的区域”。

太阳系中一些质量较大的天体，它们会清除或者散射掉近邻的小天体。质量较小的天体则无法做到这一点。它们只能处于不断变化的轨道之上，或者由一个大质量天体来维持它们的轨道。按照基本的物理规律，大质量天体在太阳系年龄的时间内散射小天体的概率正比于它质量的平方（表征了大质量天体散射小天体的能力），反比于它的轨道周期（反映了交会发生的概率）。

例如，地球的质量就足够让它最终清除掉靠它太近的天体，比如近地小行星。但地球同时还维持住了月球的轨道，保护它免遭被清理的厄运。木星、土星、天王星和海王星也各自拥有一群卫星。木星通过稳定的轨道共振，维持着其轨道上与它前后各相距 60° 的两群小行星，即所谓的特洛伊群小行星；类似地，海王星维持着一群柯伊伯带内层的小天体，称为冥族

小天体。这两者的轨道共振现象避免了小天体和行星之间的碰撞。

从水星到海王星的8颗行星，其清除和散射小天体的能力要比最大的小行星和柯伊伯带天体强数千倍。水星和火星自身质量并不足以散射其周围的所有天体，但是水星依然大得可以清除绝大部分近距离穿越其轨道的小天体。另外，火星也具有足够的引力来散射飞临的天体使其进入不稳定的轨道，随后木星的引力会完成清除火星周围这些小天体的任务。

一个天体清空其邻近区域的能力依赖于它的动力学情况，而并非是它与生俱来的固有特性。但这一动力学能力上的巨大差异，却为区分行星和矮行星提供了一条清楚的途径。到2012年底为止，已经确认的矮行星共有5颗，即冥王星、谷神星、阋神星、鸟神星和妊神星。还发现了创神星、亡神星等性质类似冥王星的柯伊伯带天体。（谢懿）



为什么这颗星取了“阋神星”这么个怪名字



◎

阋神星想象图

2005年时，人们还把冥王星看作太阳系第九大行星。但这一年的7月，几位美国天文学家宣称发现了太阳系中的“第十颗行星”。这是一颗和冥王星大小接近的天体，一开始被编号为2003UB313，后来被定名为阋神星，归类为矮行星。随后，他们又发布了发现妊神星和鸟神星的消息。这些发现引起了很大的纷争，最终导致冥王星被拉下了“行星”的宝座。

阋神星的英语名为“Eris”（厄里斯）。厄里斯是希腊神话中的不和女神。在荷马史诗《伊利亚特》中她是天神宙斯和天后赫拉的女儿，战神阿瑞斯的妹妹。她在敌对双方间散布着痛苦和仇恨。她因为没有被邀请参加色萨利国王珀琉斯和海洋女神忒提丝的婚礼而怀恨在心，抛下了一个刻有“献给最美的”的金苹果，从而引起了一长串的纷争——特洛伊战争。起初，Eris这颗星的中文名称莫衷一是，有采用音译的，也有意译的。2007年6月16日，在扬州召开的天文学名词审定委员会工作会议上，与会委员经

过充分的交流与沟通，最后投票表决将其中文名定为“阋神星”。阋，音同“细”，意为“不和，争吵”。《诗经·小雅·常棣》：“兄弟阋于墙，外御其侮（侮）。”意思是兄弟们虽然在家里争吵，但能一致抵御外人的欺侮。
(谢懿)

【微问题】柯伊伯带是一条扁平的圆带吗？

【关键词】矮行星 阋神星 柯伊伯带

为什么“哈雷彗星”的命名与众不同

太阳系中很少有天体能像彗星那样使得人类对它既敬畏又恐慌。中国古书《春秋》中已有记载：鲁文公十四年（公元前613年）“秋七月，有星孛入于北斗”，孛是指光芒强盛的彗星。古人常把彗星和战争联系起来。如司马迁在《史记·天官书》中写道：“秦始皇之时，十五年彗星四见……其后秦遂以兵灭六国……死人如乱麻。”西方也有类似的观点。1066年出现了一颗大彗星，英国人认为这是君王去世和灾难来临的象征。但聪明的诺曼底公爵威廉却将其说成自己胜利的象征，他发兵入侵英格兰，取得了胜利。



W

描绘1066年诺曼底公爵征服英格兰的织毯，人们认为画面上的大彗星预示了战争的结局

今天我们知道，彗星只是太阳系众多天体中的一种，与地球上的人类活动没有什么关联。在远离太阳时，彗星只是一个直径几千米的“脏雪

球”，称为彗核。它的成分绝大多数是水冰，此外还有尘埃、砂砾、岩石以及固体状态的氨、二氧化碳、甲烷等。当彗星接近太阳的时候，彗核中的冰会从固态直接升华成气态，形成彗星巨大的彗头以及长长的彗尾。

按照国际天文学联合会的规定，彗星的命名采用以半个月为单位、按英文字母顺序排列的编号命名法。除此之外，彗星还会以其发现者的名字命名，例如海尔-波普彗星、池谷-张彗星等。

然而，哈雷彗星的命名却是个例外，因为哈雷并不是这颗彗星的发现者。他从1337年到1698年的历史记录中挑选了24颗彗星，用牛顿万有引力定律来计算它们的轨道。他发现1531年、1607年和1682年出现的3颗彗星的轨道几乎一模一样，并想到它们极有可能是同一颗彗星每隔75~76年的再次回归。为了验证这一想法，哈雷进一步查阅了以往的观测记录，发现1456年、1378年、1301年，一直到1066年，历史上都有大彗星的记录。由此，哈雷预言这颗彗星将于1758年再次回归。虽然哈雷本人并没有活着看到这一幕，但这却是最早对牛顿引力理论的成功检验。为了显示对哈雷的尊崇，1759年这颗彗星被命名为哈雷彗星。（谢懿）

【科学人】哈雷

爱德蒙·哈雷（1656—1742），英国天文学家。1676年，他20岁时前往南大西洋的圣赫勒拿岛，建立了第一个南天观测站，并编纂了世界上第一份精度较高的南天星表，被誉为“南天第谷”。他发现恒星并不是固定不动的，而是存在着自行。不过，哈雷最为人所知的贡献还是他对哈雷彗星的研究，以及对其回归时间的准确预报。

为什么地球穿过彗尾仍能安然无恙

彗星之所以这么引人注目，很大程度上是因为它那长长的尾巴。彗尾长度可达上亿千米，这时的彗星就成了太阳系中最大的天体。实际上，彗星的尾巴可能不止一条。拥有两条彗尾的彗星

很普遍，例如海尔-波普彗星。当气体从彗核释放出来之后，太阳风——太阳发出的带电粒子流——就会把它笔直地吹向后方。和气体一起从彗核被吹出来的还有尘埃，它们的密度要比气体高得多，因此不会屈从于太阳风的摆布，而是会跟随彗星一起运动，形成弯曲的尘埃彗尾。

1910年，哈雷彗星运动到了距离地球只有2250万千米的地方。5月18日地球从它的彗尾中穿过。这是第一颗被天文学家广为拍摄的彗星，也是第一颗被科学家通过光谱来研究的彗星，由此还导致了一场风波。



②



W

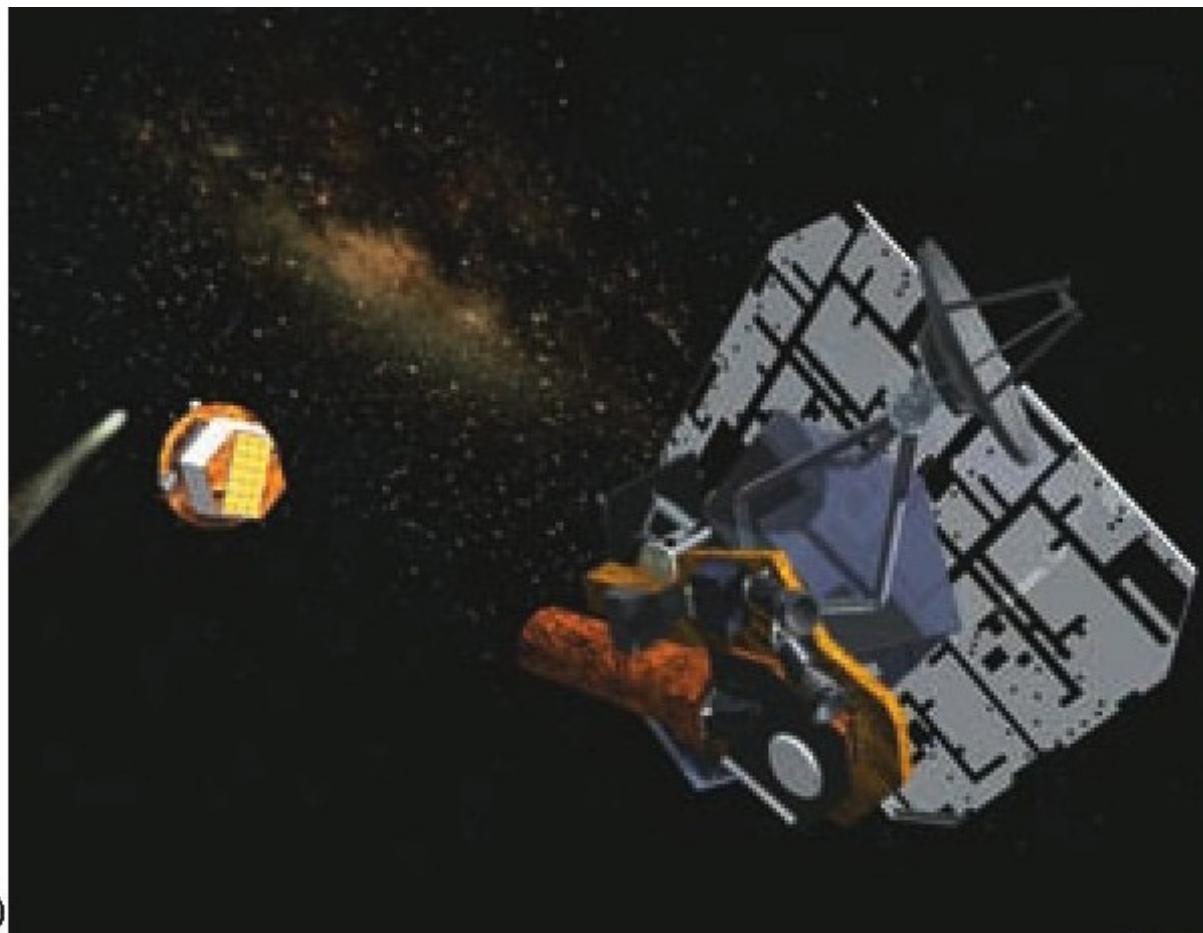
海尔-波普彗星的尘埃尾（右）和气体电离后形成的离子尾（左）

1910年2月8日的《纽约时报》报道，美国叶凯士天文台的天文学家在哈雷彗星的彗尾中发现了氰，文章以“彗星有毒的尾巴”作标题，声称氰“会充满地球大气并有可能会杀死所有生命”。于是不良厂商开始销售所谓“彗星药丸”、防毒面具以及其他“防护用具”。从这篇报道问世到地球穿过彗尾前的3个月里，“防护用具”卖得极为紧俏。天文学家们赶快出来辟谣，因为哈雷彗星彗尾中的气体其实极为稀薄，简直称得上是极好的真空实验室，

绝对不会对地球上的民众产生影响。果然，地球平安穿过彗尾，所有的人都安然无恙。（谢懿）

为什么要对彗星“深度撞击”

在太阳系中，被人类探测器造访的彗星数量与行星数量差不多。其中绝大多数探测器都是从彗星附近飞过采集数据。但2005年“深度撞击”探测器则采取了主动出击的策略。它释放出的撞击体以10千米/秒的速度撞上长8千米、宽5千米的坦普尔1号彗星，扬起了其内部的物质，供探测器母船上的仪器研究。这一撞击在彗核上留下了一个直径100米的环形山。



“深度撞击”探测器施放撞击体



撞击体撞上坦普尔1号彗星，“深度撞击”母船观测其抛出物

彗星是冰冻的物质，保存着太阳系诞生时的信息。“深度撞击”就想探知彗星的内部物质，来揭开彗星的形成之谜，并且认识太阳系的原始状态。另外，有越来越多的证据表明，彗星和小行星曾经为地球带来了水和有机物，甚至有可能开启了地球上的生命演化，因此它还有助于揭开生命起源之谜。“深度撞击”的另一个现实意义则是为将来积累经验。如果以后出现彗星碰撞地球的可能，人类就可以运用宇宙飞船去放置爆炸装置，从而改变彗星的运行轨道，以避免它对地球的危害。（谢懿）

人类曾用探测器探测的彗星

彗星	探测器
博雷利彗星	深空 1 号探测器
怀尔德 2 号彗星	星尘号探测器
麦克诺特彗星	尤利西斯探测器
贾科比尼 – 金纳彗星	国际彗星探测器
葛里格 – 斯克杰利厄普彗星	乔托号探测器
哈雷彗星	乔托号探测器、维佳 1 号和 2 号探测器、先驱探测器、翠声探测器
坦普尔 1 号彗星	深度撞击探测器

【微博士】彗木相撞

1993年3月天文学家发现了舒梅克-列维9号彗星，其独特之处在于它是围绕木星转动的。木星强大的引力不仅俘获了这颗彗星，还把它撕扯成了21块。1994年7月这列“彗星列车”陆续撞上木星。撞击产生的爆炸在木星大气中产生了巨大的黑色伤疤，其中一些可以容下一个地球。

【微问题】彗星若撞击地球会留下碎片吗？

【关键词】彗星 彗核 彗尾 深度撞击

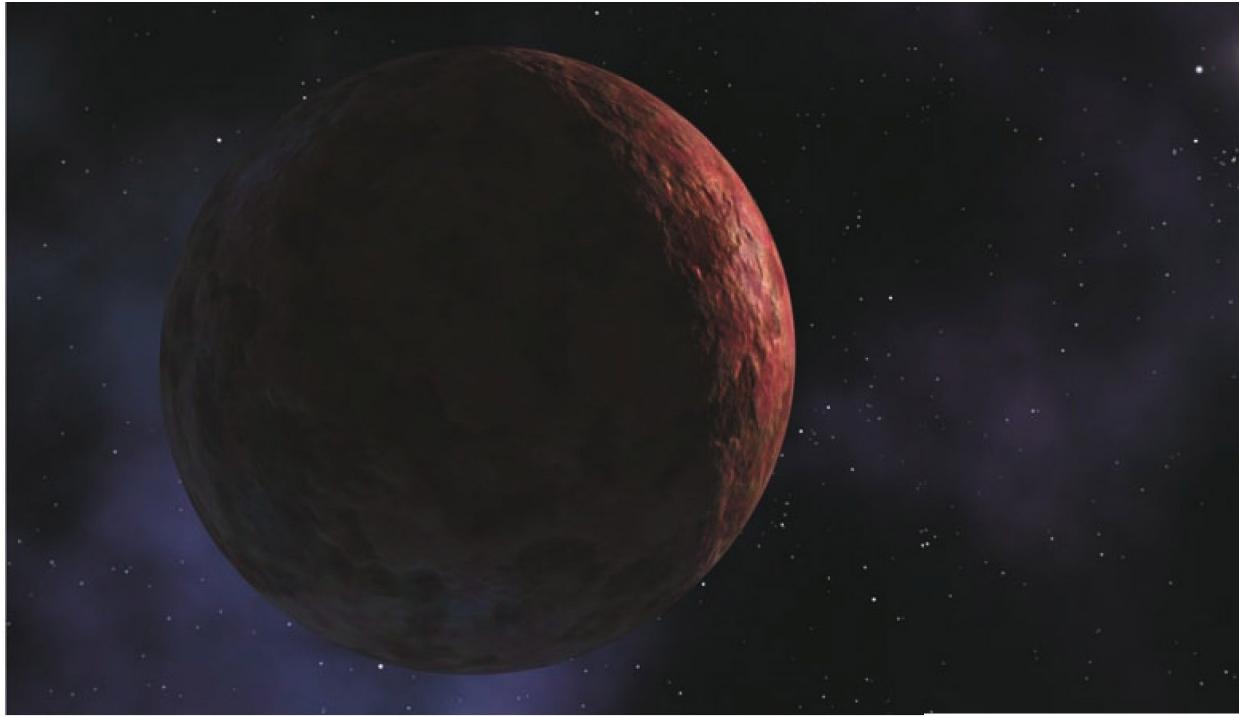
太阳系的边界在哪里

太阳系的边界是一个既值得探索，又值得回味的问题。它之所以成为问题，本身就是天文学上一次重大观念变革——日心说取代地心说——的结果。因为只有确立了日心说，才有太阳系这一称谓，也才谈得上“太阳系的边界”这一问题。

如果以1543年哥白尼出版《天体运行论》作为日心说确立的年份，那么有关太阳系的边界这一问题，最初238年的答案，是在距太阳约9.6天文单位（约14亿千米）的土星。这一答案在1781年被英国天文学家威廉·赫歇尔发现的太阳系第七颗行星——天王星——所改变。这项发现将太阳系的边界扩展到了距太阳约19天文单位（约29亿千米）处。

天王星被发现后，天文学家对它的轨道进行了计算。出乎意料的是，计算结果与观测并不吻合。天文学家将这一现象归结为一颗未知行星对天王星的引力干扰。英国天文学家亚当斯和法国天文学家勒威耶先后推算出了新行星的位置和轨道。1846年，柏林天文台的加勒和达雷斯特依据勒威耶的推算结果，成功地找到了太阳系的第八颗行星——海王星，太阳系的边界由此扩展到了距太阳约30天文单位（约45亿千米）处。

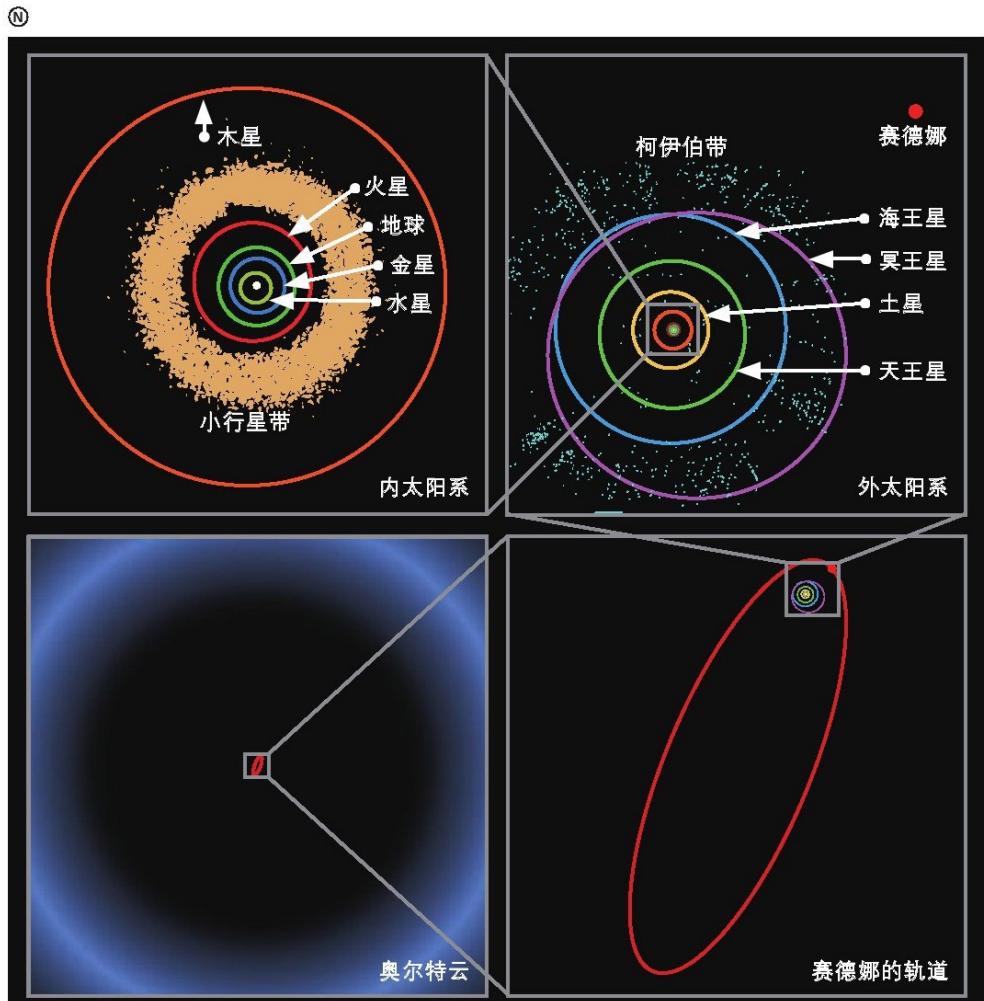
在那之后又隔了大半个世纪，1930年，美国洛厄尔天文台的天文学家汤博发现了比海王星更遥远的太阳系天体——冥王星。这颗一度被视为太阳系第九大行星，直到2006年才被“降级”为矮行星的天体，将太阳系的边界扩展到了距太阳约39天文单位（约59亿千米）处。



有些天文学家猜测“赛德娜”也是奥尔特云天体

®

但冥王星的发现并未终结探索太阳系边界的努力。20世纪40年代之后，几位天文学家先后提出了一个想法，那就是在像冥王星那样远离太阳的地方，行星的形成过程会因物质分布过于稀疏而无法进行到底，其结果是在距太阳30～55天文单位（约45亿～83亿千米）处形成一个由“半成品”组成的小天体带。这个小天体带被称为柯伊伯带。自1992年起，柯伊伯带中的天体被陆续发现，它们的分布范围比原先估计的更广。柯伊伯带的发现使太阳系的边界又向外扩展了好几倍。



不同尺度的太阳系示意图

但这仍然不是太阳系的边界。因为天文学家普遍猜测，距太阳更遥远的地方有可能存在一个长周期彗星的“大仓库”——奥尔特云，它的范围有可能延伸到距太阳 $50000 \sim 150000$ 天文单位（ 75000 亿~ 225000 亿千米）处。这几乎已经到了太阳引力控制范围的最边缘，在那之外即便还有天体，也不会像普通太阳系天体那样围绕太阳运动，从而不能再被视为太阳系的一部分了。因此，奥尔特云如果存在，并具有猜测中的范围的话，它的外边缘无疑就是太阳系的边界了。那个边界离太阳是如此遥远，哪怕一缕阳光要从太阳射到那里，也得走上两年左右的时间。如果乘坐时速350千米的高速火车去那里的话，则要花费约700万年的漫长时间！（卢昌海）

【微博士】探索太阳系边界的手段

人类对太阳系边界的探索与观测技术的发展是分不开的。最早的时候，人们只能借助自己的肉眼观察天象。水星、金星、火星、木星和土星就是用肉眼发现的。17世纪初天文望远镜的发明，开启了发现更遥远（从而也更暗淡）天体的大门。天王星和海王星的发现就借助了望远镜的威力。再往后，人们又将照相技术与望远镜结合在一起，并且发明了像闪视比较仪那样特别适用于搜索运动天体的仪器。利用这些设备，借助新兴的计算机技术，人们陆续发现了冥王星、柯伊伯带天体，以及某些可能是最内侧的奥尔特云天体。

为什么说奥尔特云是装满了彗星的“大仓库”

太阳系是我们的家园，也是整个宇宙中我们最熟悉的部分。如果说太阳系中还有一个隐秘的部分，它包含了数以万亿计的天体，其主体部分却不仅从未被人类观测到，甚至在可预见的将来都很难被直接观测，那似乎有些令人难以置信。

但这却很可能是事实，那个隐秘的部分就是“奥尔特云”。

也许有读者会问：既然是隐秘的部分，我们又怎么知道它存在的呢？答案是：因为这种推测的背后有一条观测上的线索，那就是彗星。

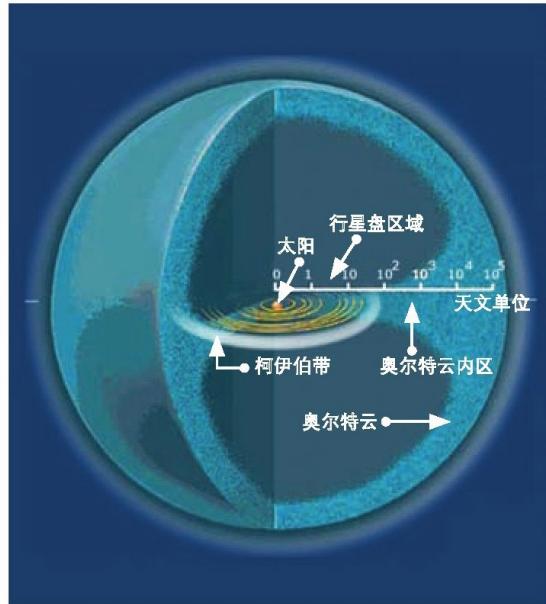
天文学家把彗星分为两类：轨道周期在200年以下的称为短周期彗星，轨道周期在200年以上的称为长周期彗星。长周期彗星的轨道往往能延伸到离太阳几万甚至十几万天文单位处。1950年，荷兰天文学家奥尔特在对几百颗长周期彗星的轨道进行分析后，提出一个大胆的设想。他认为，距太阳几万至十几万天文单位处存在大量的小天体，它们若碰巧进入内太阳系，就会成为长周期彗星。

那些小天体构成了奥尔特云。由于那些小天体是长周期彗星的源泉，所以奥尔特云就像是一个装满彗星的“大仓库”。

那么，“大仓库”里究竟有多少小天体呢？据估计约有几万亿个。不

过，这个巨大的数字与奥尔特云所占据的广袤空间相比，仍少得可怜。如果有航天器穿越它的话，很可能并没有机会接近任何一个天体。远离太阳造成的寒冷和暗淡，使得奥尔特云的主体部分极难被直接观测到。

但个别奥尔特云天体仍有可能运动到离我们较近的地方，长周期彗星本身就是很好的例子。已被观测到的某些其他天体也有可能是属于奥尔特云的。比如2003年发现的，远日点距离达900多天文单位（比海王星距太阳还远30多倍）的赛德娜，就被认为有可能是属于奥尔特云的。甚至连哈雷彗星也被认为有可能曾经是一颗来自奥尔特云的长周期彗星，后来因为巨行星的引力干扰才成为短周期彗星的。（卢昌海）



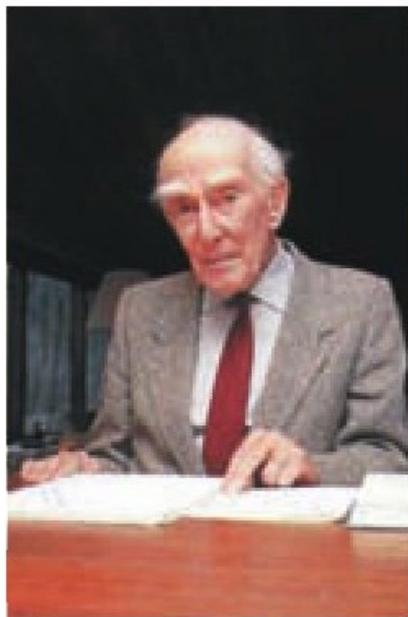
④ 奥尔特云可能呈球壳状

【科学人】奥尔特

扬·奥尔特（1900—1992），荷兰天文学家。1950年提出有关奥尔特云的猜测。不过，类似的猜测其实早在1932年就由爱沙尼亚天文学家奥皮克提出过，而且奥尔特的猜测在一些细节上也并不正确。奥尔特本人倾注更大心力的工作是在银河系结构和射电天文学领域。

【微问题】为什么奥尔特云是球形而不是盘形？

【关键词】奥尔特云 太阳系边界



L

为什么能知道一块石头是不是“天外来客”

从地球外来的流星体如果未在大气层中燃尽，落到地面上就是陨石。它正好落在你面前的机会微乎其微。大部分陨石是很早以前就落到地上的。要辨别一块躺在地面上的石头标本是不是陨石，可以根据标本的外观特性、岩石学特性和化学元素来初步判断。



注意铁陨石表面的熔壳和气印

首先看外观特性。陨石在坠落时相对于地球的运动速度非常高，至少11千米/秒。如果以这个速度旅行，只需要1.6分钟就可以从北京到达上海了。如此高速的陨石冲入大气层时，陨石前方的空气会被压缩而升温，其温度比太阳表面的温度还高。陨石被如此高温的空气灼烧，表面会融化，形成一层毫米级厚度的熔壳。熔壳通常是黑色的。随着时间的推移，陨石表面黑色的熔壳会风化变浅，甚至完全剥落。

大气和陨石的强烈作用，还可以在陨石表面形成一种被称为气印的结构。气印是陨石表面的非常浅的凹坑。因为陨石的大小不同，气印从拇指肚大小到巴掌大小都有。不过陨石降落过程中会在空中翻滚，并不是每块陨石上都会留有气印。

陨石的岩石学特性也与普通石头不同。陨石中绝大多数是石陨石。石陨石中最常见的类型是球粒陨石，它有两个非常典型的岩石学特性：毫米级的球粒状结构和磁性。球粒状结构可以在陨石剖面上观察到；而用磁铁靠近球粒陨石则可以感受到陨石的磁性。



球粒陨石剖面

还有两种陨石，即铁陨石和石铁陨石，虽然数量不如球粒陨石多，却最容易辨识。即便它们表面的熔壳脱落了，也容易认得出。铁陨石又叫陨铁，是纯度很高的铁。因为地球表面自然状态的铁非常罕见，只要能排除熔渣等人工产物，它就很可能是陨铁。而且陨铁中镍元素的含量较高，而地球上通过铁矿石提炼的铁中镍元素很少。可以用对镍敏感的测试剂涂抹标本来判断镍含量，从而初步判断陨铁的可能性。石铁陨石的铁含量低些，但也有50%是铁和镍，因此也可以用镍试剂法来判断。此外，陨铁和石铁陨石都具有磁性，也可以作为判断的依据。

最难判断的是既无球粒结构又无磁性的陨石，比如火星陨石、月球陨石、灶神星陨石等。如果缺少了熔壳这个最直接的证据，那么，判断起来就非常困难，往往需要专业的研究机构，比如大型自然博物馆、天文台或者大学里的地质系才能鉴定。（张旭）

为什么南极洲的陨石特别多



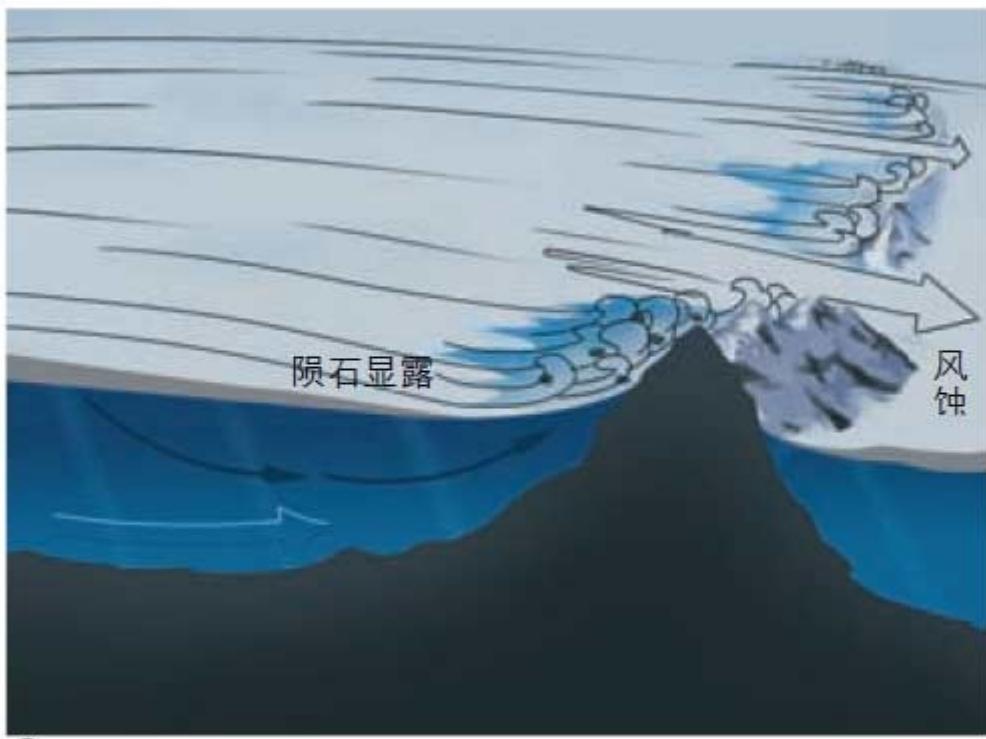
铁陨石的切面，半透明部分为橄榄石

1969年，日本的南极冰川科考队在南极的大和山一个很小的区域内发现了9块陨石，而这些陨石居然是6次不同的坠落事件中分别落下的。经过仔细研究，日本科考队掌握了南极地区的陨石分布规律，几年内就在大和山发现了上百颗陨石。美国科学家闻风而动，于1976年也派出陨石搜索队到南极。他们一到达南极洲阿兰山附近，就发现了11块属5种不同类型的陨石。继日本、美国之后，欧洲一些国家、中国和韩国的南极科考队也将寻找陨石作为常规性工作任务，成果斐然。截至2012年初，已经有37000颗以上的南极洲陨石获得了独立命名，占全球已命名陨石量的70%。

南极洲能发现那么多陨石，原因何在呢？南极洲是地球上最寒冷的地区，也是地球上最干燥的大陆。坠落该地的陨石，受到的风化作用小，很容易保存数万年，甚至上百万年。而在其他大陆，坠落地面的陨石，其表

观特征在几年到几百年内就会风化殆尽，即使在最特殊的热带沙漠环境也无法将陨石保留超过10万年。此外，南极洲大部分地区冰雪覆盖，冰上的可疑物体很可能就是陨石。而在其他大陆，陨石和岩石土壤混合在一起，不如在南极容易辨认。

不过，南极陨石储量惊人的最大功臣还是“蓝冰区”。冰川在从南极大陆向海洋移动的过程中，受到山脉阻碍，被挤在山前停滞不动。强烈的南极下降风侵蚀着冰川表面，发生风蚀的地区就形成了“蓝冰区”。顾名思义，蓝冰区较之白雪皑皑的南极大陆是呈蓝色的。广袤的冰川裹挟着散布在上面的岩石，慢慢地聚集到山前，南极下降风又使得其中的岩石碎片显露出来。科学家可以通过卫星影像发现这些蓝冰区域，并前往搜寻，让人类陨石库中的标本数量翻了番。



④

南极洲蓝冰区富集陨石的原理

值得一提的是，1961年签署的《南极条约》规定：在南极洲进行的任何考察活动不能以商业为目的；从该洲找寻的所有地理样品只能用于科学

研究。因此，南极洲的陨石都被保存在科研机构中，没有因为私人搜寻或转售而流失。（张旭）



◎

2013年2月15日，一颗陨石向俄罗斯车里雅宾斯克地区坠落

陨石向我们透露了什么秘密

降落到地球上的陨石主要有三个明确的来源，大部分（约99%）来自小行星，少数来自月球和火星，还有极少数陨石来源不明。另外，关于是否存在来源于彗星的陨石一直存在争论。球粒陨石是最常见的石陨石，它们形成于太阳系历史早期，至今都没有发生什么变化，这是我们了解早期太阳系的唯一直接物证。其他的石陨石，如无球粒陨石，则显示了陨石母体自身熔化再结晶的迹象，甚至天体碰撞过程的痕迹。陨铁和石铁陨石也发生了熔化，为我们研究行星形成的最初阶段提供了依据。来自月球和火

星的陨石的科学价值当然就更大了。（张旭）

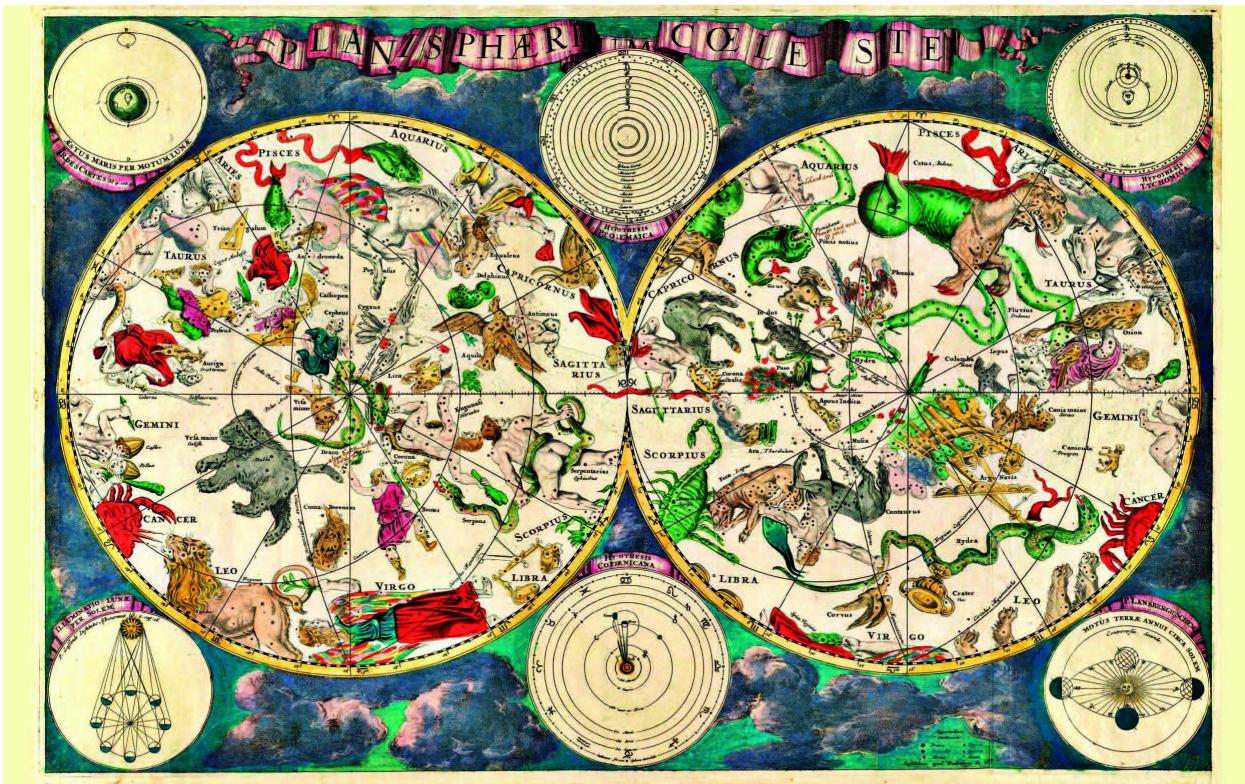
【微博士】最大的陨石

世界上最大的陨石是20世纪20年代在纳米比亚赫鲁特方丹地区发现的戈巴陨铁，重量为60吨。戈巴陨铁来自一颗被彻底撞击碎裂的星体，也是迄今为止地球上发现的最大一块自然铁。

【微问题】为什么会有蓝冰区？



【关键词】陨石 陨铁 石铁陨石 蓝冰区



17世纪的著名荷兰制图家弗雷德里克·德维特绘制的天图。左面的大图是北天星图，右面的是南天星

图

恒星和银河系

恒星在天空中的位置永恒不变吗

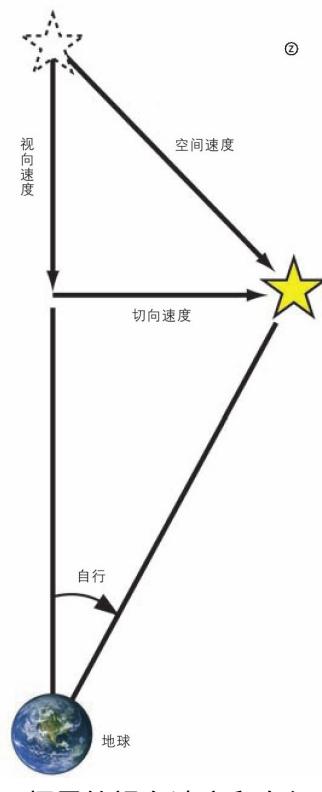
古人很早就发现，天上的绝大多数星星相互之间的位置在几十年甚至几百年的时间里都没有什么变化，只有少数几颗星会在这个恒定不变的背景中做相对运动。他们认为后者是在运动的，称之为“行星”，而将前者称为“恒星”，顾名思义就是不动的星。然而，恒星其实却在不停地运动着，速度可高达几十千米每秒，甚至更快，只不过距离太远，很难在短时间内觉察出它们相对位置的变化。如果把恒星在当代的位置与古代星图、星表里所列的位置相对照，就可以发现有些恒星的位置确实在变动。

速度包含大小和方向两个方面。天文学上通常把天体的运动速度分解为两个方向的分量：一个是沿观测者到天体的视线方向的分量，称为“视向速度”，以千米每秒为单位；一个是与视线垂直方向的分量，称为“切向速度”，以角秒每年为单位。切向速度投影在天球上就表现为“自行”，也就是我们看到的天体在天球上位置变化的速度。相隔一段比较长的时间，精确测定同一颗恒星在天球上的位置，可以确定该恒星每年在天球上移动的角度，即恒星的年自行。肉眼可见恒星的年自行大多小于 $0.1''$ ，目前所知自行最大的恒星是蛇夫座的巴纳德星，年自行 $10.31''$ 。即使是这颗星，也得经过350多年才在天球上移动 1° ，难怪古人要把恒星当作恒定不动的天体了。

恒星自行的大小并不能反映恒星真实运动速度的大小。自行与该天体到地球距离的乘积，才是恒星的切向运动速度。同样的切向运动速度，距离远看上去就移动缓慢。巴纳德星的自行较大，主要是因为它离我们较近（不到6光年），而其真实的切向运动速度只有88千米/秒，在恒星的赛跑场上其实并不算太快。

恒星沿视线方向的运动与沿切向的自行不同，它使恒星远离或靠近观测者，但不会改变观测者看到的此星在天空中的方向——即在天球上的位置。视向速度不能直接被观测到，但可以采用多普勒效应的原理，利用恒星光谱的特性来测定。通过光谱观测，人们发现巴纳德星正在向地球靠近，视向速度为108千米/秒。

通过自行和视向速度的测定，我们就可以知道恒星运动速度的大小和方向。不过，我们测得的恒星运动都是相对的，它由两部分组成：一部分是因为地球的运动，包括地球随太阳系在银河中运动而引起的恒星视运动，就像我们在行驶的车中看到周围的景物在运动一样。另一部分是恒星自身的运动，称为恒星的本动。对于一大批恒星来说，它们本动的方向和大小是杂乱无章的，因而平均值应接近于零。根据这一点，可以利用大批恒星的观测速度来确定太阳系的运动。现已知道，太阳相对附近的恒星以大约20千米/秒的速度朝着织女星附近的方向运动，在近20小时的时间内才能移动自身直径那么大小的一段距离（约140万千米）。从天文学的角度来看，这种速度实在是很慢的。（陈力）



恒星的视向速度和自行

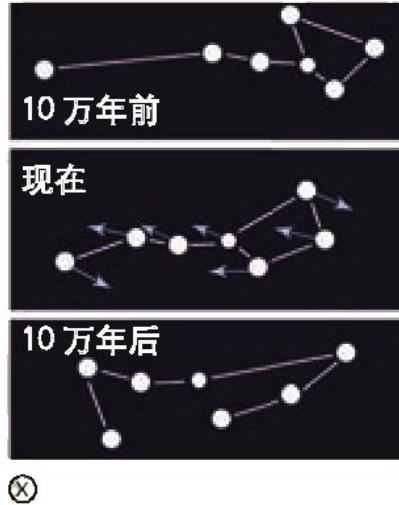
【微博士】北斗七星的形状演变

恒星的自行虽然很小，但日积月累，久而久之仍会使恒星间的相对位置发生显著的变化。在空中，一些星星构成的图案是我们所熟悉的，例如北斗七星。由于恒星自行的缘故，在10万年前或10万年后它的形状就和现在完全不同。

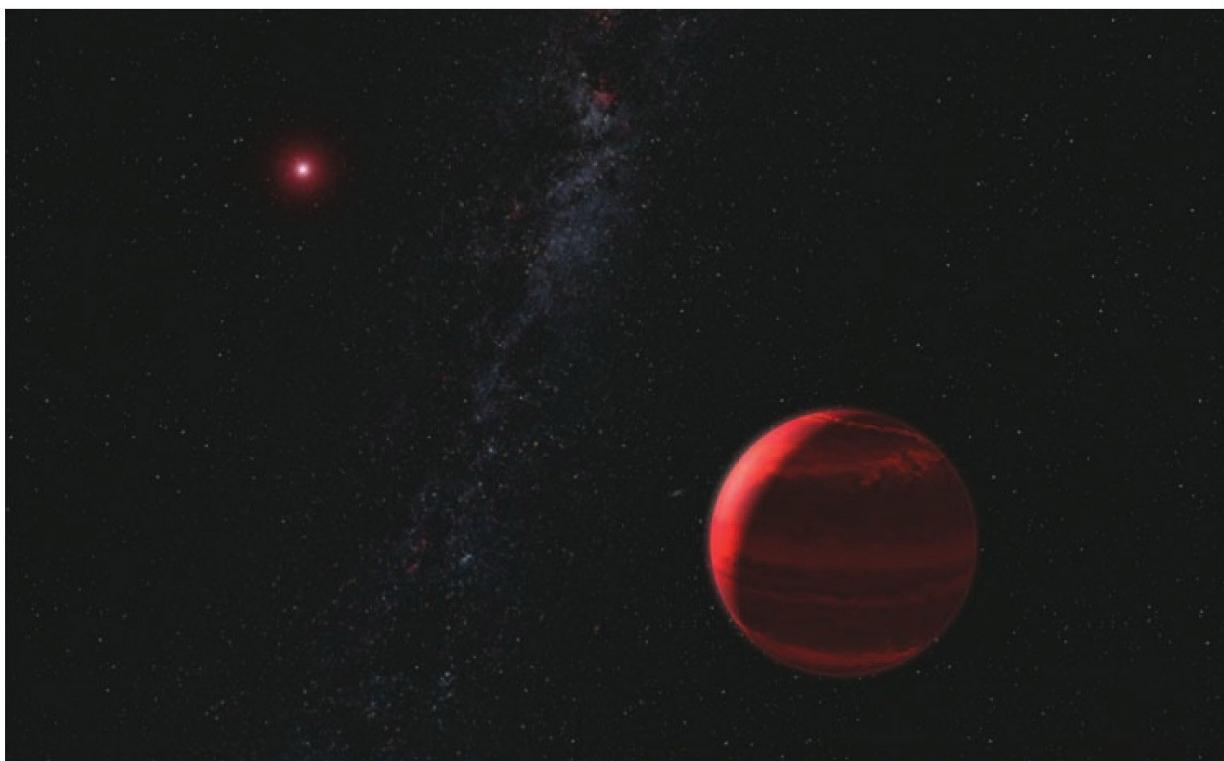
天上的恒星会相撞吗

银河系内，繁星似尘，恒星的总数有上千亿颗。沿银盘方向恒星投影尤为密集，肉眼难以把密集的恒星分辨开来，使人觉得那宛似一条发亮的光带，称之为银河。

星空虽然看起来群星密布，实际上却非常空旷。先来看一看恒星的尺寸：作为银盘上一颗普通的恒星，太阳的直径约为140万千米。恒星中“个儿”最大的是超巨星，半径可超过太阳的1000倍，或者说几个天文单位。我们再看恒星间的距离：太阳到最近的半人马座比邻星的距离为4.22光年，相当于26万天文单位或40万亿千米，是太阳直径的几千万倍。太阳相对附近的恒星的运动速度大约20千米/秒。如果按同样比例缩小，则太阳和比邻星之间，如同两辆轿车相距15万千米之遥，以低于0.1毫米每秒的速度相对“蠕动”着，其相互间发生“车祸”的难度可见一斑。更何况银盘上的恒星都各按一定的轨道绕银河系中心运转，恒星间相撞的可能性更是微乎其微。牛郎织女鹊桥相会只能是美丽的神话，恒星间真正的零距离“亲密接触”可谓亿载难逢啊！（陈力）



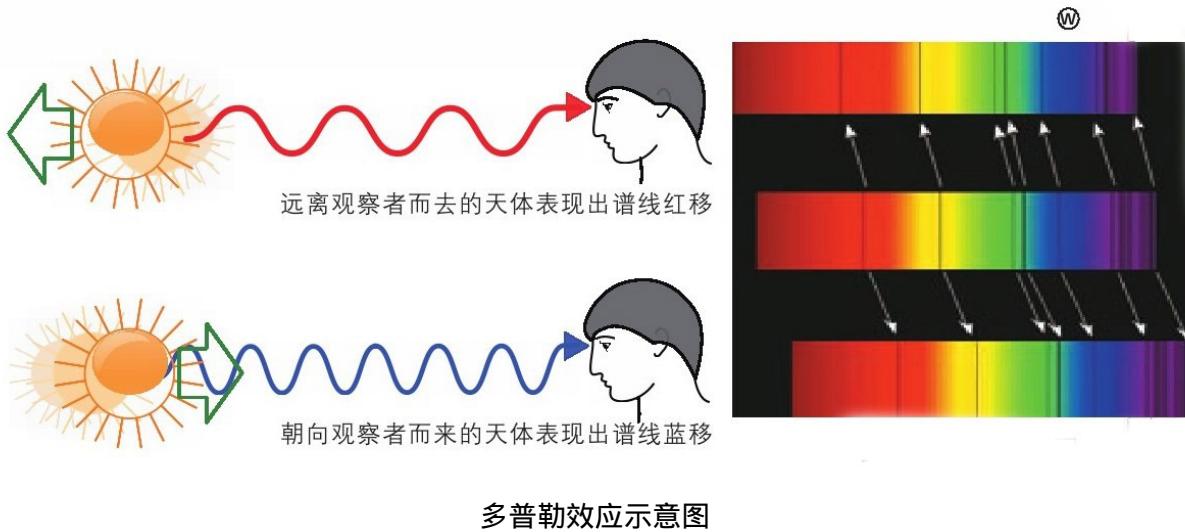
⊗



从环绕一颗红矮星旋转的行星上看银河的想象图。看起来恒星密布的银河其实是很空旷的

为什么用多普勒效应可以测得天体的运动速度

1842年，奥地利物理学家多普勒发现，运动物体发出的声音在静止的观测者听起来会发生变化。当发声物体远离观测者运动时，观测者听到的声波波长就会比静止波长更长，而声源朝向观测者运动时，听到的声波波长就会比静止波长更短。速度越高，波长变化越大。在生活中很容易体会这一点：如果汽车经过你时鸣喇叭，你会听到喇叭声从细变粗，而且速度越快，这种变化越明显。由此就可以根据声音的变化知道汽车的速度。



多普勒效应示意图

光波和声波一样，也会由于多普勒效应而发生波长的变化。恒星的光谱中有一系列吸收线，如果恒星远离我们而去，我们观测到的这些吸收线就会向光波的红端（长波）方向移动，称为谱线红移；反之，当恒星朝向我们而来时，观测谱线会向光波的蓝端（短波）方向移动，称为谱线蓝移。测出谱线红移或蓝移的量，根据多普勒效应的公式，我们就可以得出恒星朝向或者远离我们的速度了。（陈力）

【微问题】牛郎星和织女星能相会吗？

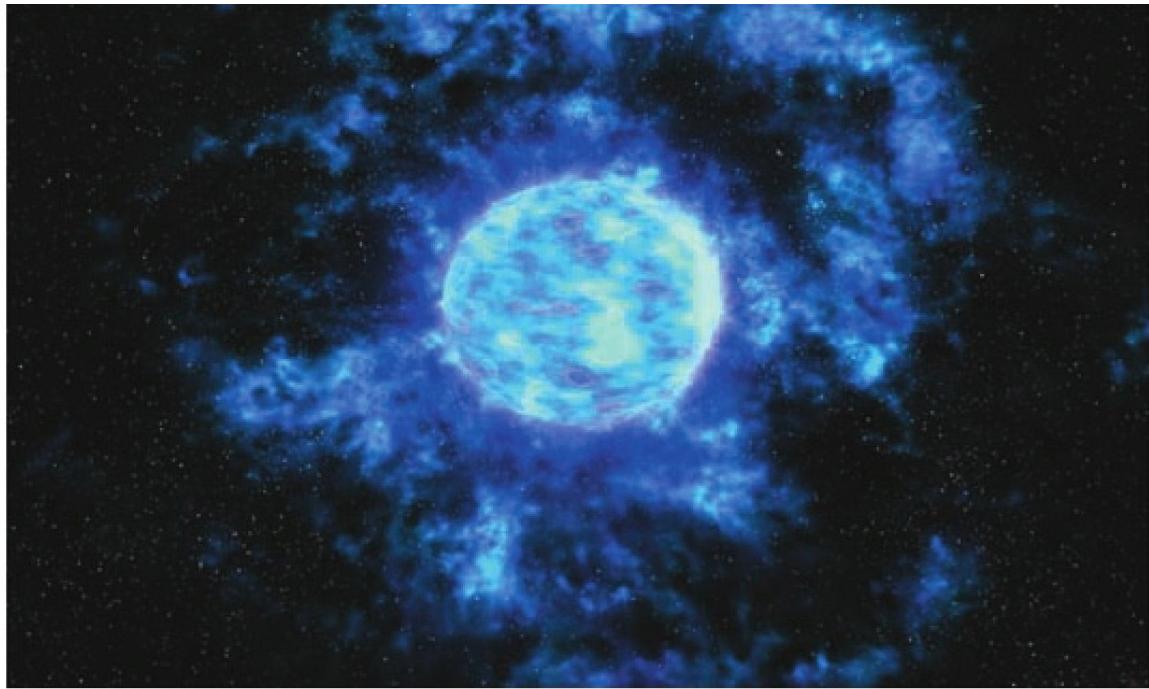
【关键词】多普勒效应 视向速度 自行 比邻星

为什么说恒星的世界五彩斑斓

夜晚，满天星斗亮暗殊异，它们的颜色也是赤橙黄蓝，五色纷呈。实际上，每一颗恒星发出的光中都包含着各种颜色的光，比如用棱镜就可将太阳光分解成彩虹那样的“七色光”。恒星之所以看起来颜色不同，是因为星光中某些颜色的光较强。比如太阳发出的黄光相对比较强，看上去呈现黄色；参宿七发出的蓝光比较强，就表现为蓝色；参宿四发出的红光比较强，从而表现为红色，等等。

日常生活的经验告诉我们，蓝色火焰的温度高，黄色火焰的温度低。同样的道理也适用于天上的恒星：恒星不同的颜色，反映了不同的表面温度，颜色和表面温度大体上有着表中所示的对应关系：

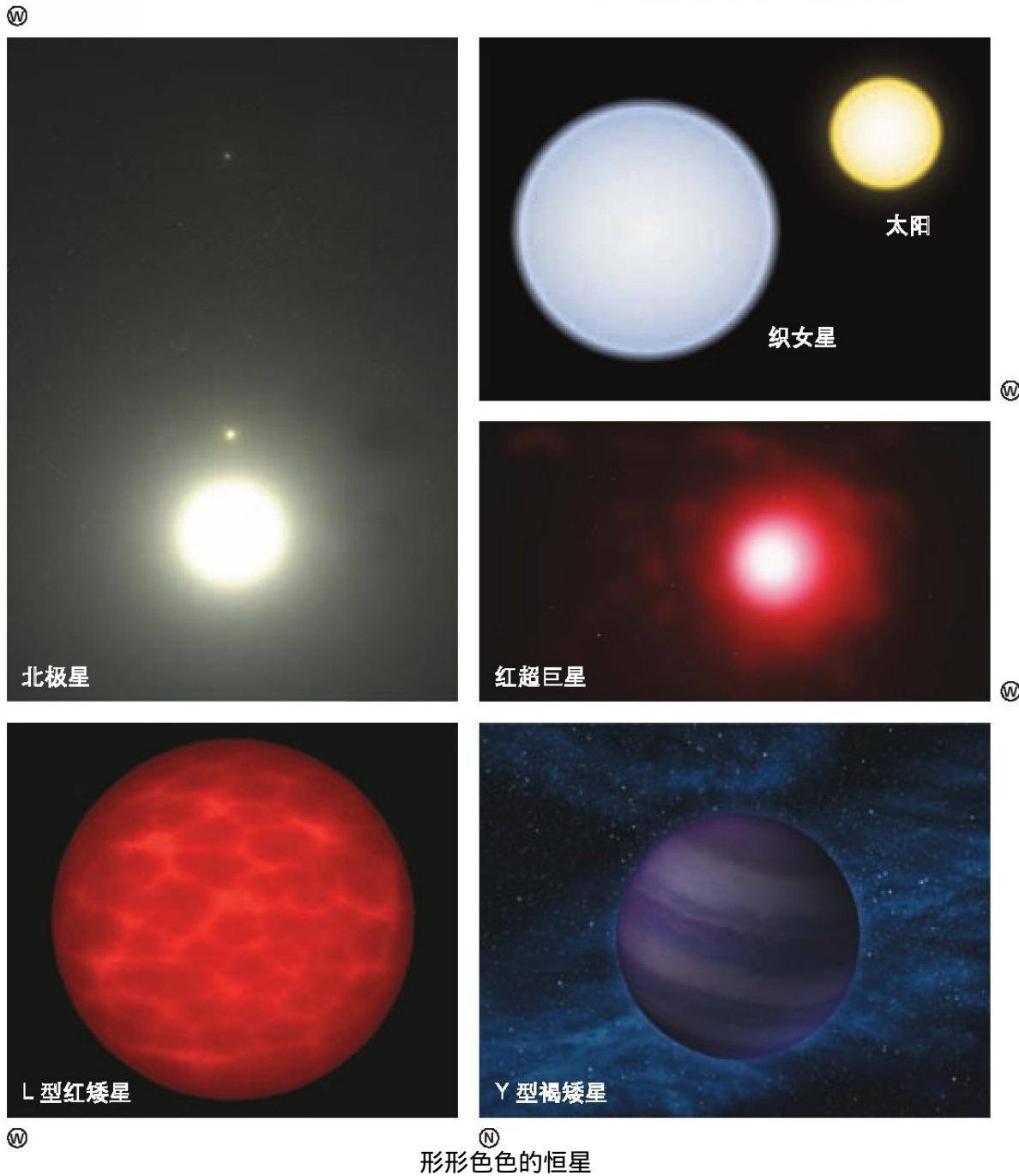
颜色	表面温度（开）
蓝	25 000 ~ 40 000
蓝白	12 000 ~ 25 000
白	7700 ~ 11 500
黄白	6000 ~ 7600
黄	5000 ~ 6000
橙	3700 ~ 4900
红	2600 ~ 3600



◎

正在向外抛出物质的蓝超巨星

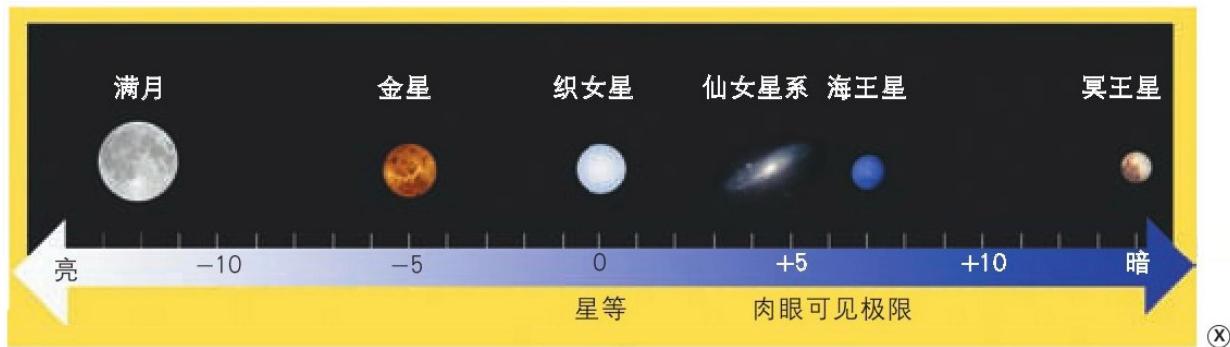
每一颗恒星都是一个炽热的等离子体球，中心部分进行着剧烈的热核反应。那里释放的巨额能量通过辐射、对流等过程向外输送到恒星表面，使星体发光。不同恒星由于年龄、质量及金属含量的不同，彼此的表面温度差别很大，相应的颜色也就各不相同。如果对恒星进行照相，由于长时间的星光累积，不同恒星的色彩差异将更为显著。正是这些斑斓的色彩，向我们“泄露”了恒星众多内在物理性质的秘密。（陈力）



【微博士】视星等“标尺”

英语中的“星等”一词在拉丁语中的本意是“大小”，因为明亮的星星看上去要大一些。公元前2世纪，古希腊天文学家依巴谷把肉眼所见的恒星按亮度分成六个等级，最亮的是1等星，最暗的是6等星。这种划分依据的是个人的主观感觉。到了19世纪上半叶，出现了光度计，可以客观地测量恒星

的亮度了。1856年，英国天文学家波格森提出，把1等星与6等星之间的亮度差别，严格地定义为100倍，也就是说，星等每增加1等，亮度就降低为原来的 $1/2.512$ （ 2.512 是100的5次方根）。根据这个定义，就可以有0等星（亮度是1等星的 2.512 倍），可以有负的星等，还可以有小数星等。



为什么不同质量的恒星会有不同的归宿

恒星之所以能够在很长的时间里保持稳定的状态，完全是因为其内部的核聚变反应。核反应将氢转变为氦，同时释放巨大的能量。这些能量往外传递，提供了恒星向外的辐射压。正是这种压力，抵抗着星体自身的引力，否则，恒星就会在自引力的作用下不停地向中心收缩。

然而，核“燃料”终有耗尽的一天。当恒星中央氢聚变为氦的反应停止以后，与引力抗衡的能量消失了，中央的氦核会迅速收缩。氦核的收缩会释放出巨大的引力势能。这些能量一方面将外围残余的氢“点燃”，使得恒星的表面急剧膨胀，光度陡增，形成一颗巨星；另一方面，向内又将氦核加热。当氦核的温度升高到1亿开时，就能够产生氦聚变为碳和氧的核反应。氦核的“点燃”使得辐射压和引力重新达到平衡，收缩暂时停止。这样的过程可能会重复下去，氦用完后是碳，然后是氧、硅等，直至中央生成致密的铁核。

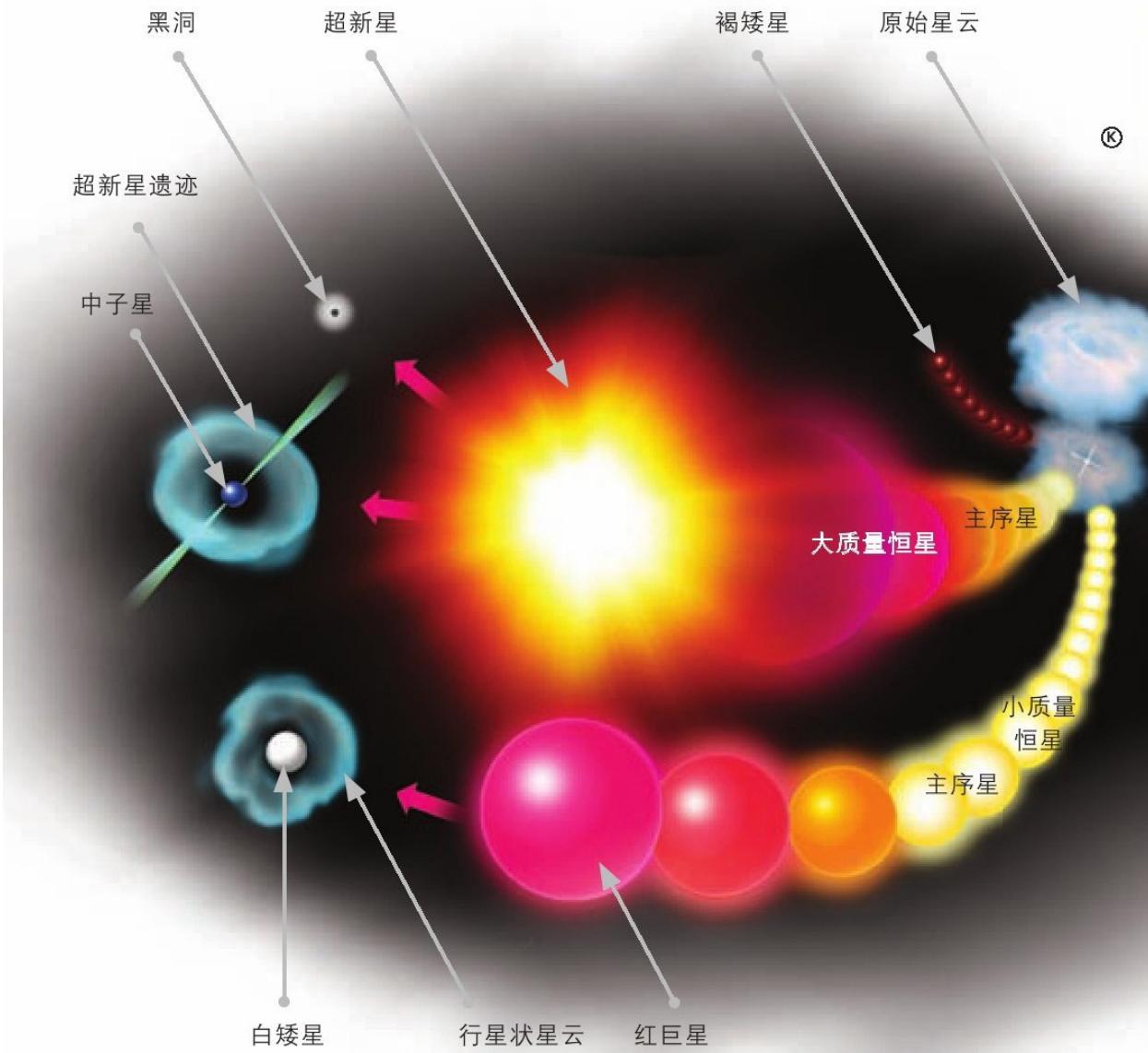
但并不是所有的恒星都能演化到生成铁核的阶段。像太阳这样质量较小的恒星，当氦耗尽以后，由于物质的总量不够，作为“炉渣”的碳和氧坍缩所释放的引力势能无法将核心加热到“碳燃烧”的温度。所以，坍缩会继

续下去，直至密度高达几吨每立方厘米的时候，才在电子简并压的抵抗下停下来，在中央留下一颗白矮星。而恒星外层的物质则继续向外膨胀，形成弥漫的行星状星云。白矮星刚诞生时非常热，表面温度可以达到上万开。随着时间流逝，它会慢慢冷却，温度和光度不断降低，逐渐变成红矮星以至黑矮星，几乎不再发光，那时就很难观测到它了。

大质量的恒星演化到了生成铁核的阶段，由于质量的不同，最后的结局也是各不相同的。质量大约4~8倍太阳质量的恒星，残留下来的内核质量会超过1.44倍太阳质量——这称为钱德拉塞卡极限，无法停留在白矮星的状态，而会一直坍缩成为密度比白矮星还要高几亿倍的中子星，星体由中子简并压与自身的引力抗衡。这个坍缩过程很快，释放的引力势能以猛烈爆炸的形式爆发出来，将内核以外的所有残余物质猝然抛向太空，形成一次超新星爆发。

如果恒星的质量再大一点会怎样呢？这时，内核的质量会超过约3.2倍太阳质量——这称为奥本海默极限，中子简并压也无法抵御内核自身的巨大引力，恒星的内核会一直坍缩下去，直至形成一个黑洞。外围的物质则在一次更加猛烈的超新星爆发中，散布到广袤的星际空间。

当然，恒星真正的演化过程远比这里描述的要复杂。但是无论如何，一旦恒星形成以后，它的质量就完全决定了其自引力大小；而自引力是主导恒星演化进程的首要物理因素，它一步一步地控制着不同质量的恒星走向各自不同的归宿。（邵正义）



恒星演化示意图

【微博士】简并压

电子、中子、质子等基本粒子，有一个物理学特性称为“自旋”。自旋等于半奇数（ $1/2$ 、 $3/2$ 等）的粒子称为“费米子”。我们可以把费米子想象成需要占据一定空间的粒子，如果空间很小，同类费米子之间就会因为拥挤，产生相互排斥的作用，称为“简并压”。

【微问题】光年是长度单位还是时间单位？

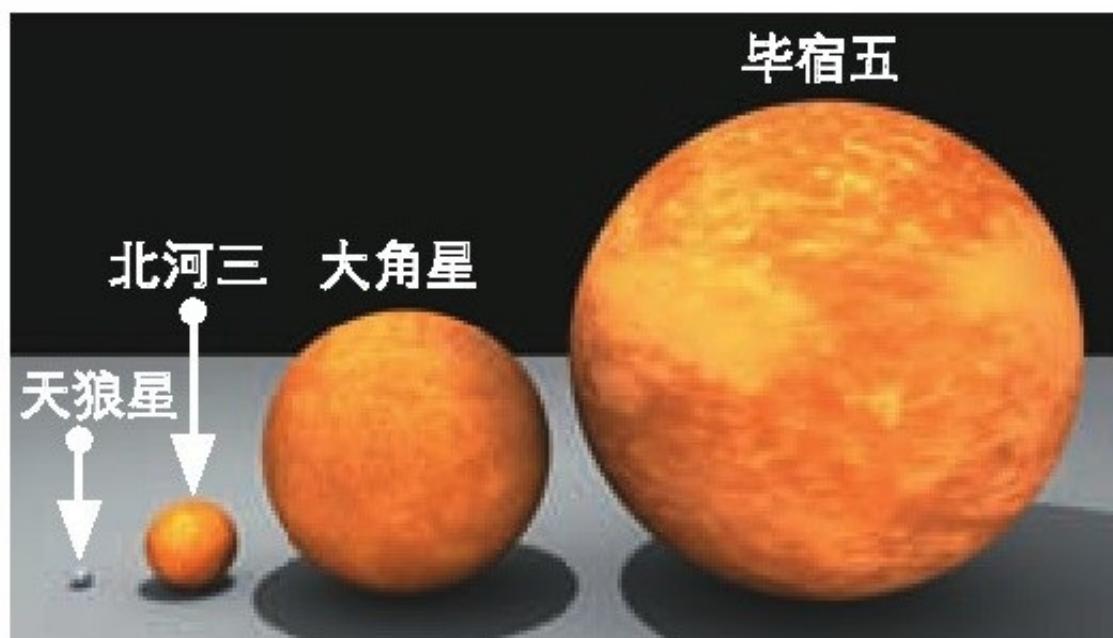
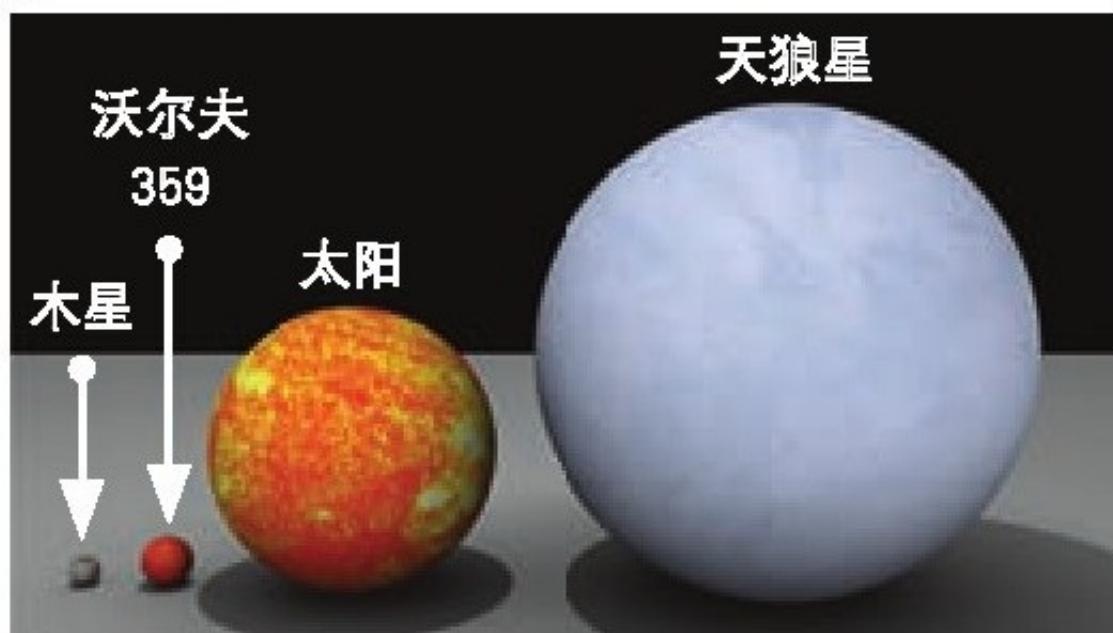
【关键词】表面温度 简并压 白矮星 中子星

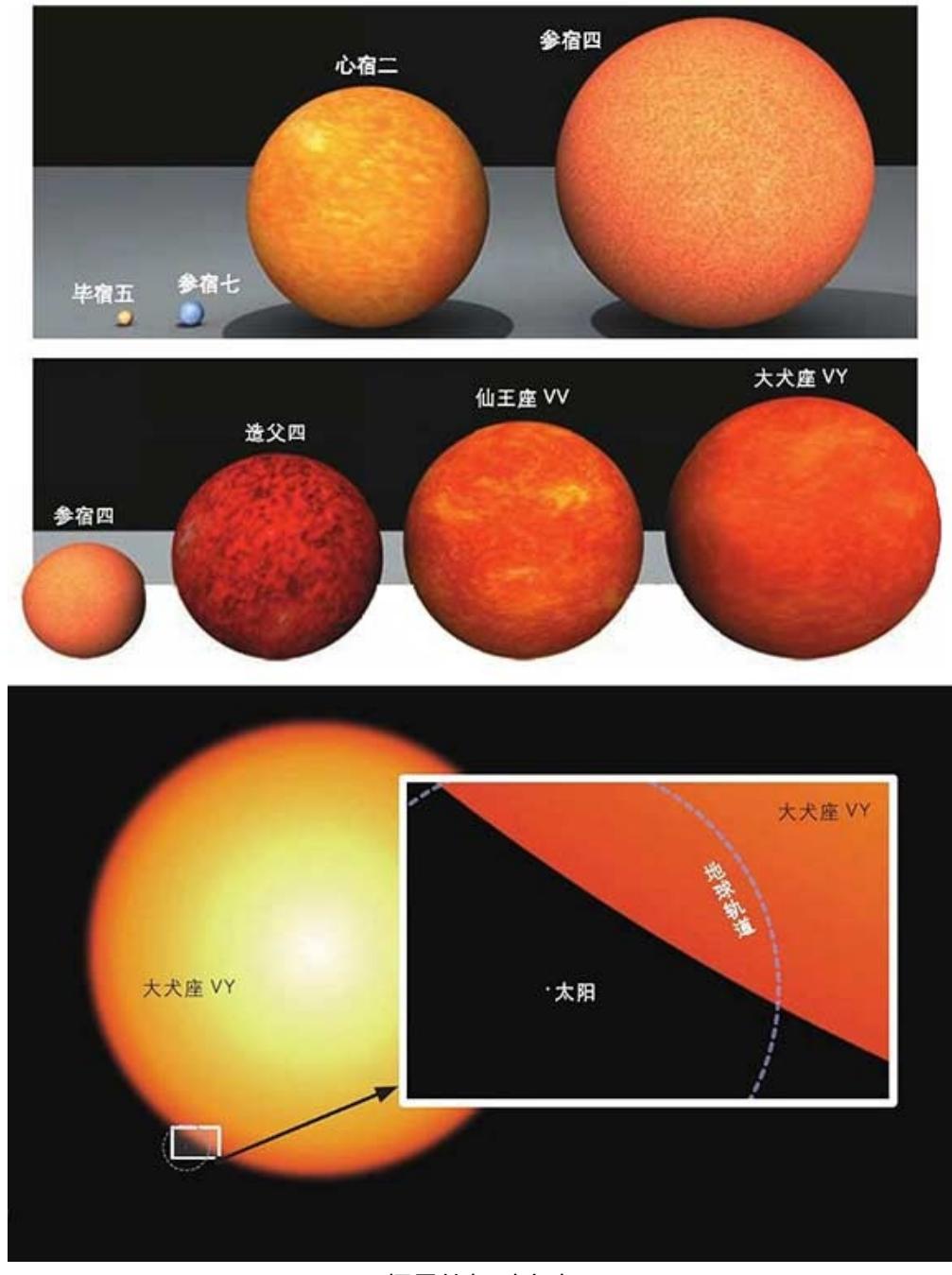
为什么恒星世界也有“侏儒”和“巨人”

如果你看过英国作家斯威夫特写的《格列佛游记》，一定会对其中描写的“小人国”和“大人国”印象深刻。在小人国里，普通人身高只有15厘米，相比之下，主人公格列佛好像金刚巨人；而大人国中什么都像被巨型放大镜照过似的，一株小草就高达6米，格列佛只好站在9米高的“矮桌”上吃饭，还不时被桌上的面包屑绊倒……

当然这都是艺术想象，然而在恒星世界里，真有那样令人望而生畏的“巨人”和比侏儒还小的“小人”。只不过，小说里大、小两个极端人物相比最多也只相差上百倍，不同恒星“身材”之间相差更为悬殊，体积之比可达上亿倍！

◎





举例来说，太阳的直径将近140万千米，“身躯”内装得下130万个地球，但在恒星世界里，这样的个头实在算不了什么。很多恒星的体积都比太阳大。例如，仙王座VV星的半径是太阳的1600倍，体积是太阳的40亿倍，堪称恒星世界的超级“巨人”。当然，也有不少恒星比太阳小，直径可小到太阳的1/10。而演化到末期的大质量恒星遗骸——中子星，直径只有

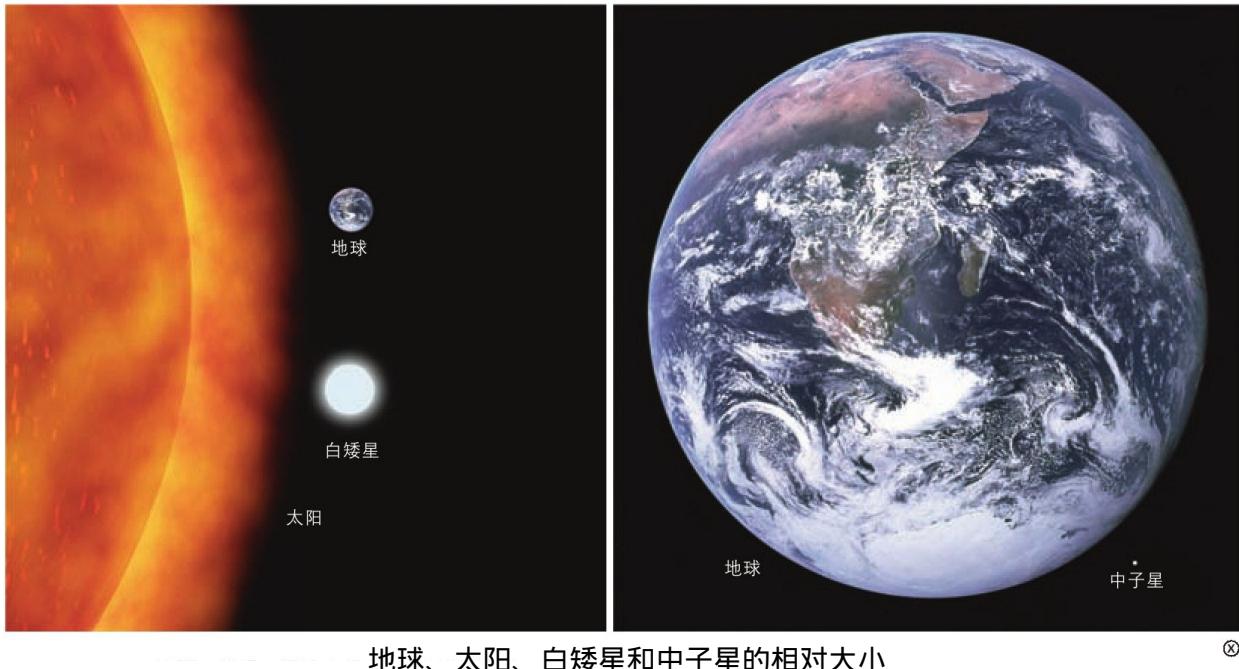
十几千米到几十千米，堪称恒星中的迷你级“侏儒”了。

恒星身材相差悬殊，它们的物质密度也千差万别。太阳的平均密度是1.14克/厘米³，不及地球密度的1/4，在恒星世界里算是中等的；比如，人们熟知的天蝎座α星（中文名心宿二，又称为大火）是一颗红巨星，半径是太阳的600倍（体积是太阳的2亿多倍），密度却只及太阳的1/8600000。又如，天狼星的伴星是一颗著名的白矮星，它的半径只有太阳的1/140，而质量却和太阳相当，密度高达3800千克/厘米³。更有甚者，20世纪60年代，人们发现了快速自转的中子星（脉冲星），它们的直径只有几十千米，可是密度却高达数亿吨每立方厘米，真称得上是“骇人听闻”了。

相对来说，恒星质量的差别要小得多。太阳的质量约 2×10^{30} 千克（2000亿亿亿吨），是地球的33万倍，但在恒星中仅处于“中游”水平。恒星中质量最大的约为太阳质量的120倍，最小的约为太阳质量的1/10。

质量小于0.08太阳质量的原恒星，收缩时核心的温度永远达不到点燃氢热核反应所需要的700万开，因此不能成为主序星，而只能变成一颗褐矮星。

恒星的质量直接决定了引力收缩时恒星中心能够达到的温度，而这一温度又直接影响恒星内部热核反应的速度，因此，尽管恒星质量差别不算太大，可是恒星质量的大小，却决定了恒星的命运。（陈力）



地球、太阳、白矮星和中子星的相对大小

㊂

怎样给远方的恒星称“重”

要知道物体质量的大小，人们立即会想到秤。然而，有些东西的质量是不能用一般的秤直接称量的。比如像行星、恒星这类巨大而又遥远的天体的质量，那就根本不能靠秤来解决问题，必须通过其他办法来推算它们的质量。

17世纪初，天文学家开普勒总结出著名的行星运动三定律。其中第三定律指出，任何行星的公转轨道半长径的立方与其绕日公转周期的平方之比是一个常数。这样，根据测得的地球的公转周期和公转轨道半长径，便可以计算出太阳和地球的总质量。

同样的原理可以用于测定双星中恒星的质量。在恒星世界里，双星是很普遍的，银河系中大约有半数以上的恒星以双星形式出现。双星中质量较大的一颗称为主星，较小的一颗称为伴星，伴星绕主星作椭圆轨道运动。从地球上看，伴星和主星的相对位置在不断改变，就像地球绕太阳公

转一样。因此，只要把主星当作“太阳”，把伴星当作“地球”，就可以用开普勒第三定律得到双星的总质量。

上面是假定主星不动，伴星绕主星运动，从而确定双星的总质量。实际上主星、伴星都绕着双星系统的质心在作椭圆运动。它们的轨道半长径的大小与星的质量成反比，有了双星系统的总质量和两星的质量之比，就很容易得到主星和伴星的质量。比如，天狼星及其伴星的轨道半长径之比为1:2，因而它们的质量之比为2:1。已经知道两子星的质量之和为 $3.2M$ ，于是不难得到主星质量为 $2.2M$ ，伴星质量为 $1M$ （ M 代表太阳质量）。

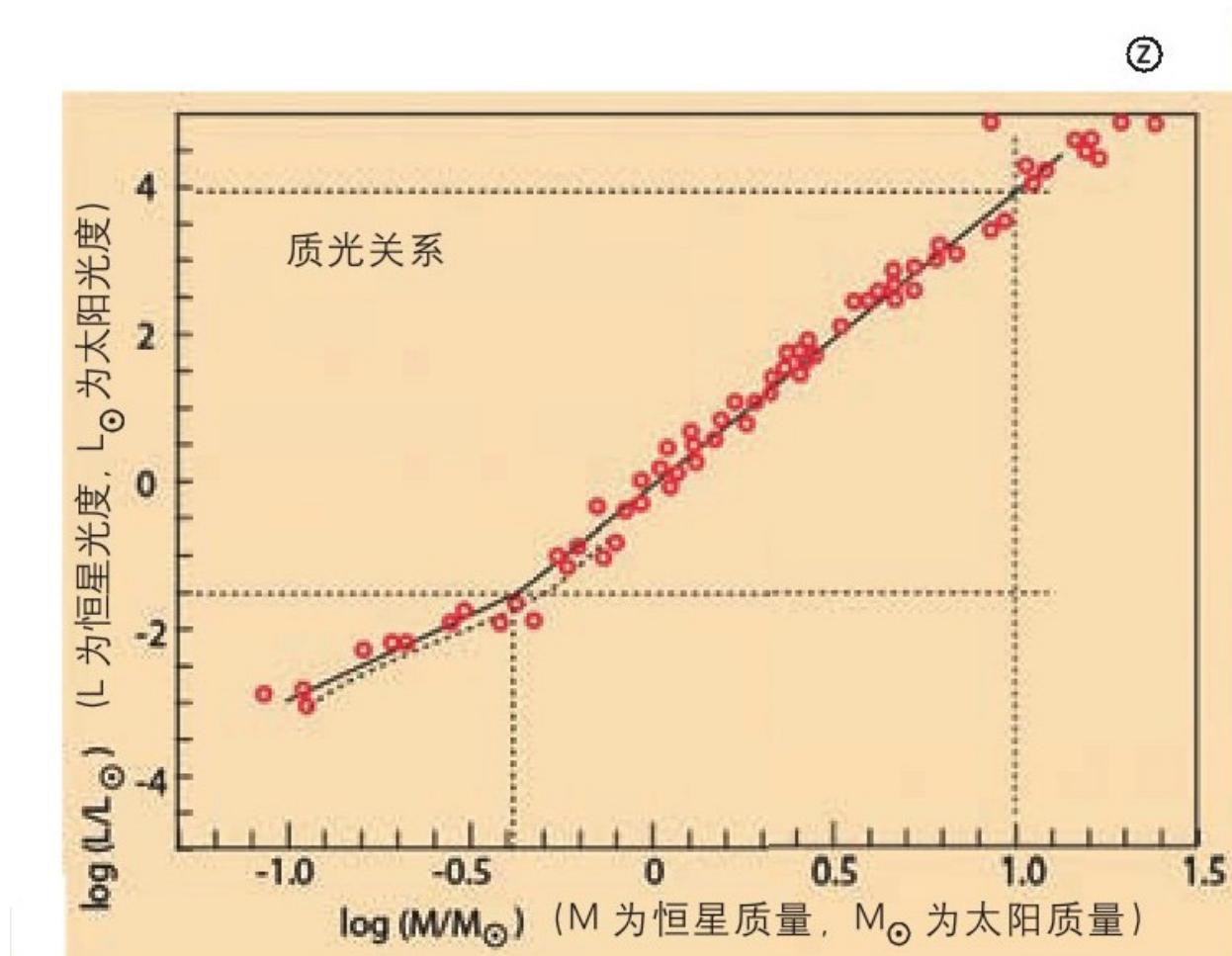


◎

夜空中最亮的天狼星是由两颗恒星组成的双星系统

遗憾的是，受到观测精度的限制，能够通过上述方法确定恒星质量的双星很少。而且这种方法不适用于单星。对于单颗恒星来说，天文学家主要利用质光关系等办法确定恒星的质量。不过，质光关系是大量观测的统计结果，也就是说，对于一大批恒星而言，这种关系总体上是成立的，但

对于某一颗具体恒星来说，这种关系并不严格准确。因此，用质光关系确定的恒星质量，就不如用双星运动的方法来得准确，只能说是一种估算。
(陈力)



【微博士】质光关系

20世纪20年代，天文学家在大量观测的基础上总结出了一条重要的经验规律：除物理性质特殊的巨星、白矮星和某些致密天体外，大部分恒星的光度（记为 L ）越大，质量（记为 M ）也越大，它们之间的关系称为质光关系。质光关系提供了一种估计恒星质量的重要方法，而且为研究恒星内部结构和建立各种理论模型提供了判据。

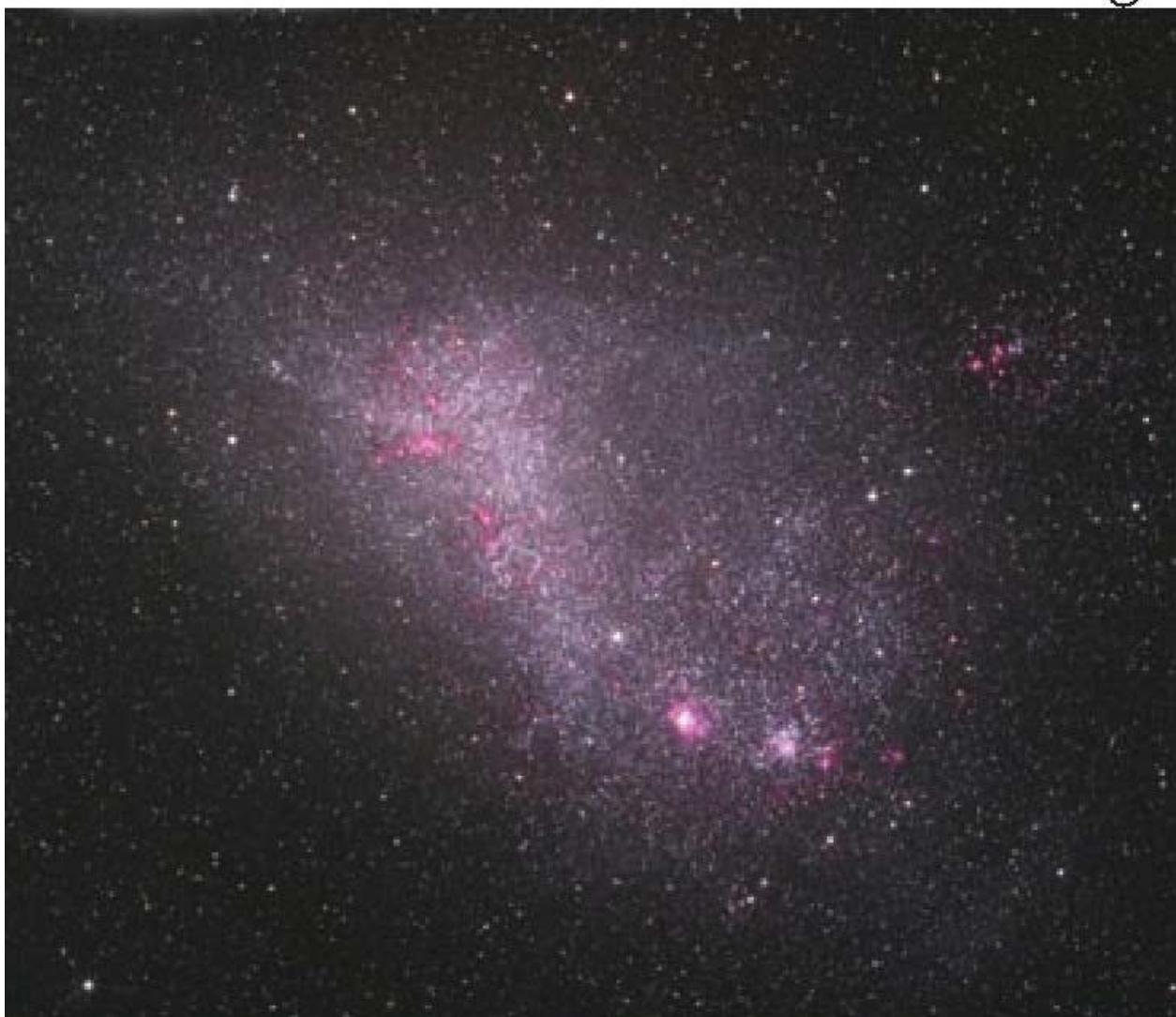
【微问题】较重的恒星多，还是较轻的恒星多？

【关键词】光度 巨星 矮星 双星

为什么造父变星被称为“量天尺”

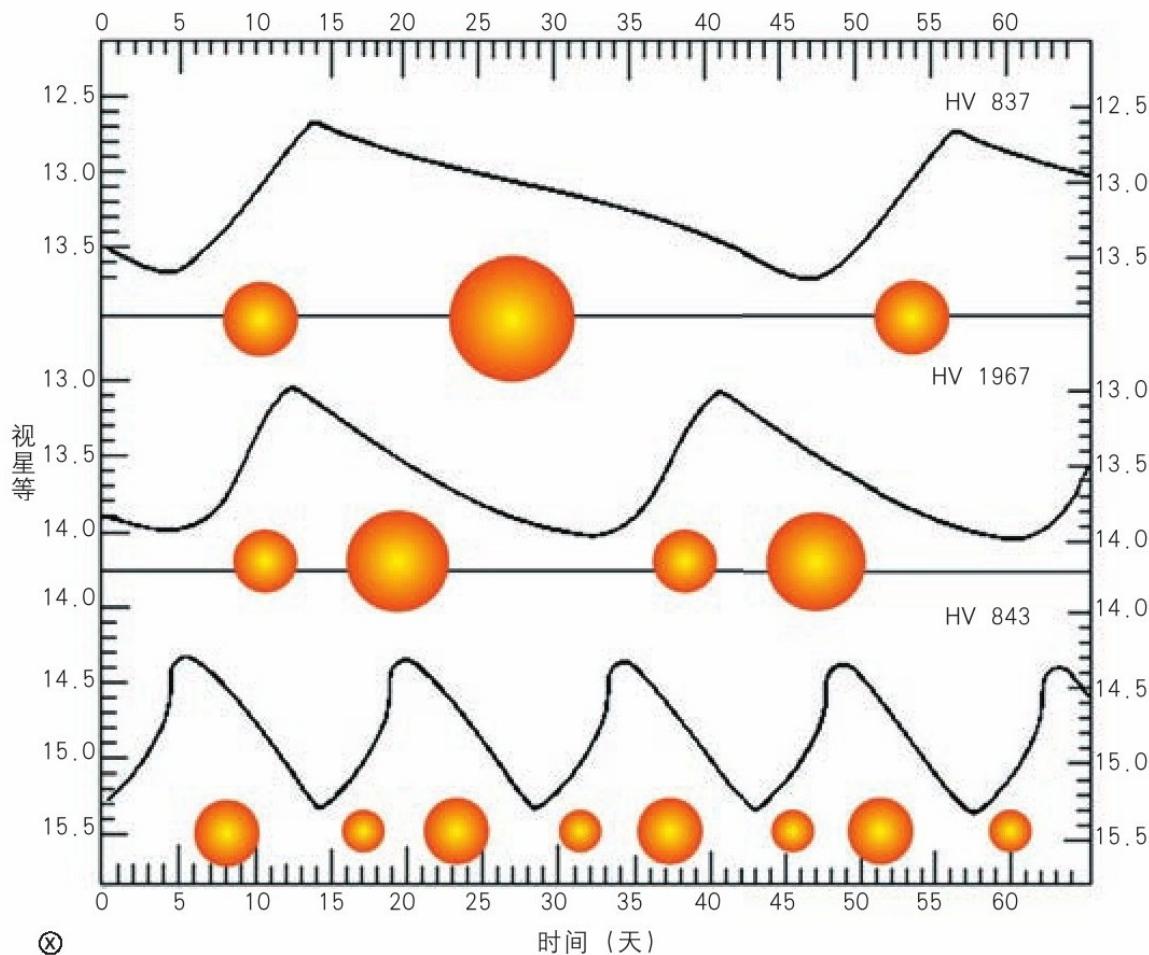
造父变星是一类光度有稳定变化周期的脉动变星。最早发现此类变星的是英国荷兰裔业余天文学家古德里克。1784年，这位年仅20岁的聋哑青年发现，仙王座δ是一颗变星，它有5.37天的稳定的光变周期，最亮和最暗时亮度相差1.9倍。后来，类似的变星都被称为“仙王δ型变星”。因为仙王座δ的中国古代星名是造父一，所以汉语中把这类变星称为“造父变星”。

1912年，也是一位聋哑人的美国女天文学家勒维特，在分析小麦哲伦星云中的25颗造父变星的时候，发现了一个有趣的规律：在一个光变周期中的平均亮度（视星等）越亮的造父变星，它的脉动周期就越长。反之，越暗的造父变星光变周期就越短。小麦哲伦星云本身的大小同它与我们的距离相比，是一个相当小的量，所以这25颗星可以近似看作在相同的距离上。因此，它们的视星等相差多少，也就反映了它们本身的光度（绝对星等）差异。所以，勒维特的这个发现被称为造父变星的周光关系。这一关系反映了这类变星的内禀特性，就像强壮的人有强劲而缓慢的脉搏一样。



小麦哲伦星云

造父变星的周光关系看似简单，实则意义非凡。天文学研究中一直面临着一个难题，就是如何测量天体的距离。如果我们测出一颗恒星的视星等，又知道了它的绝对星等，那么就可以根据亮度与距离的平方成反比的关系，计算出这颗恒星的距离。天文学中把用这种方法测得的距离称为光度距离。视星等是我们可以直接测得的，可是，如何才能得知一颗恒星的绝对星等呢？长期以来，这是一个令人头痛的问题！



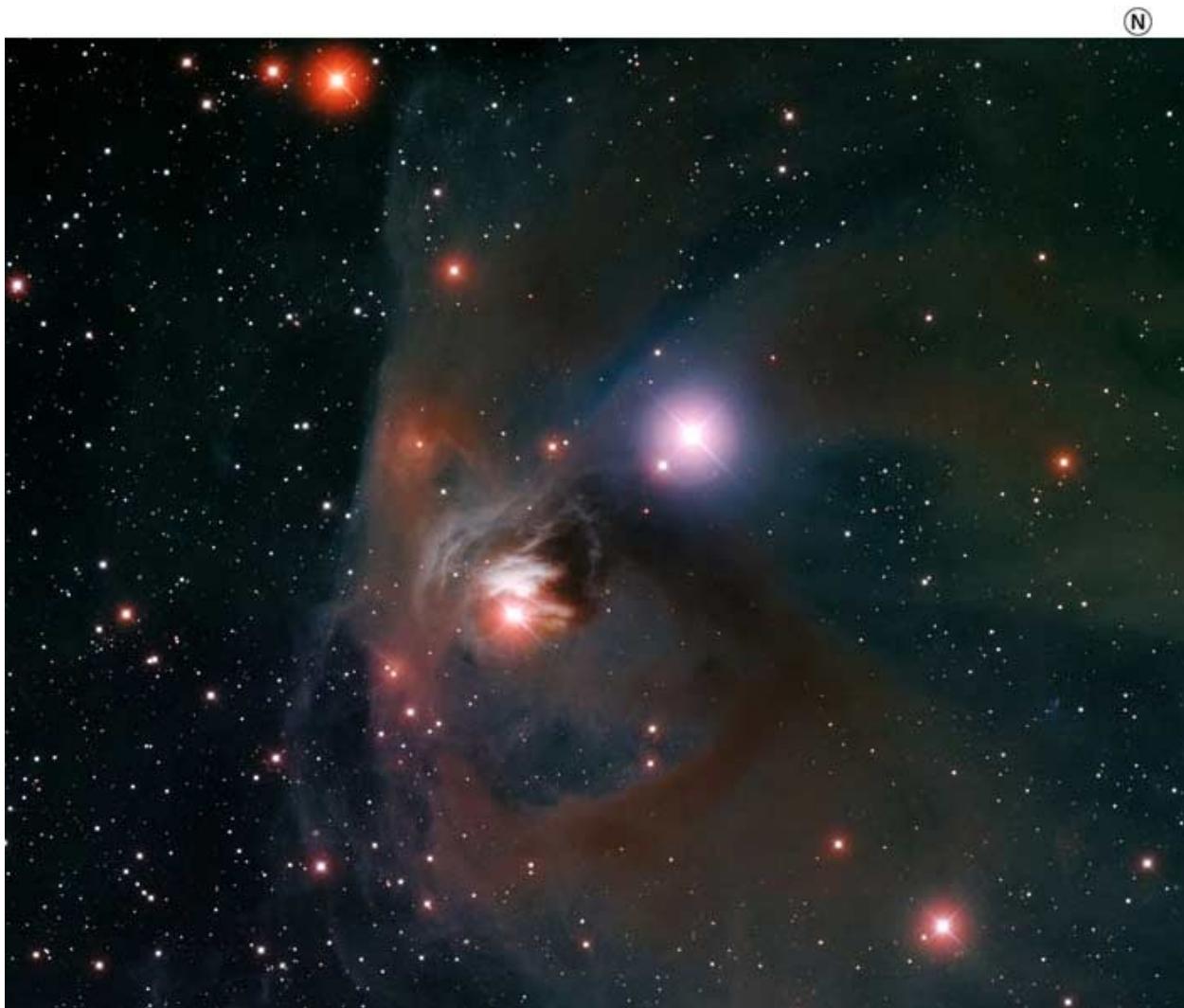
一些造父变星的光变曲线和大小变化示意图

由于造父变星，这个问题解决了。它的周光关系将光度和时间这两个完全不同的量联系了起来。想知道某颗造父变星的绝对星等吗？测测它的光变周期就可以了。然后我们就能知道它距离有多远。不仅如此，更为重要的是，造父变星的周光关系还常常被用来测量其他遥远天体的距离。比如在一个河外星系里发现了造父变星，那么这颗造父变星的距离，其实也代表了这个星系的距离。

造父变星，使我们对天体距离的测量范围延伸到了几千万光年。这个跨度和宇宙的大小比起来，虽然仍然很小，却是极为关键的一环。要知道，河外星系的证实和哈勃定律的发现可都是造父变星的功劳！所以，“量天尺”的美誉，造父变星当之无愧！（邵正义）

为什么有的恒星时亮时暗

西方人很早就发现有几颗星特立独行，亮度不时地变化着，其中最著名的就是鲸鱼座ο（中国古星名蕤藁增二），它从明亮到消失，一变就是几年。另外一颗是英仙座β（中国古星名大陵五），亮度变化相当明显，被认为是希腊神话中帕尔修斯手持的妖怪美杜莎之头。中国古人也早就发现了恒星亮度的变化，比如在中国古代星座“贯索”（天上的监狱）中，就有几颗星时明时暗。占星师认为贯索中变亮的星增多，则天下蟊贼蜂起，大狱将兴。另外一个著名的例子是在公元1054年，中国古人记录了天上突然出现一颗很亮的星。其实那颗星本来就存在，只是突然变得极亮而已。



NGC1554/1555星云中的金牛T型星，有强烈的光变

这些亮度发生变化的星，统称为变星。变星有两大类，一类是因为被另一个天体挡住，遮遮掩掩，星就发生明暗变化，这种变星称为“食变星”。另一类是由于恒星本身的物理原因造成亮度变化，又有“脉动变星”、“不规则变星”、“激变变星”之分。

食变星是一明一暗两颗亮度不同的恒星相互绕转，当暗星挡在亮星前面时，我们观测到的亮度就最小，亮星挡在暗星前面时，我们观测到的亮度是次小，两颗星互不遮挡时，我们观测到的它们的总亮度最大，这就是食变星光变的原理。

脉动变星的亮度又为何发生变化呢？原来，恒星的内部，每时每刻都在进行剧烈的核聚变反应。核反应产生的能量，不停地从恒星的核心区传递到恒星表面，然后辐射到宇宙空间，这就是恒星发光的本质。大多数恒星，在一生的大部分时间里，产生的能量和辐射的能量是平衡的。但有些恒星演化到一定阶段，这种平衡开始变得不稳定。核反应的产能超过辐射出去的能量，恒星内部的温度增高、压力增大，导致星体向外膨胀。膨胀使得恒星的表面积增加，有更多的光能向外辐射，从观测者的角度来看，这颗恒星就变亮了。另一方面，膨胀使得恒星内部的温度、密度和压力下降，核反应的强度也随之降低。这时，恒星的自身引力又起了主导作用，引起星体的收缩，恒星的亮度又会变暗。同时，收缩引起恒星中心密度增大，温度升高，导致核反应又开始增强。这样的过程周而复始，整颗恒星有节律地时明时暗，像是脉搏一样，故称为脉动变星。脉动变星的亮暗变化有很大的差异。变幅大的，亮暗之间可以相差上千倍；变幅小的，或许仅有千分之一的差别。

在恒星形成的初期，尚未开始稳定的核反应，也会发生光变，比如金牛T型星，就是一种不规则变星。有些恒星在生命的终点更是会出现最极端的不稳定过程，比如新星和超新星爆发，它们会在短时间内发生激烈的光变，被称为激变变星。前面说到公元1054年出现的那颗亮星，就是一颗超新星。超新星爆发所释放的能量十分可观，有的在短期内可使恒星增亮上亿倍，甚至比整个星系还要明亮。（邵正

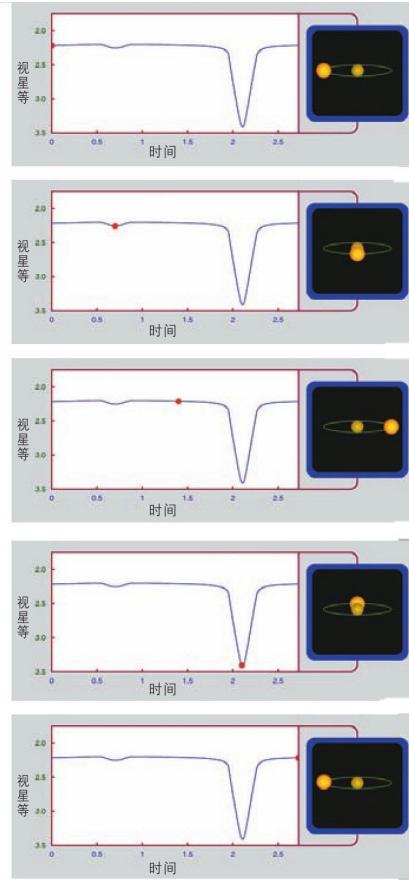
义)

【微博士】自转变星

即便是在恒星的稳定期，只要观测手段足够先进，也可以探测到一些微小的亮度变化，如果一颗恒星表面的黑子或亮斑分布不均匀，随着它本身的自转，朝向观测者的半个恒星表面的总亮度也会呈现周期性的变化，我们称之为自转变星。

【微问题】你认为太阳是一颗变星吗，为什么？

【关键词】造父变星 食变星 激变变星



食变星光变原理图

恒星是怎样诞生的

早在300多年前，牛顿就猜测恒星是由星云通过引力凝聚而成的。然而很长时间以来，人们并不清楚弥漫、寒冷的气体尘埃云是怎样凝聚成灼热、明亮的恒星的，这个问题直到最近50年才逐渐明朗。

恒星诞生于一种称为分子云的星云，那是温度只有几十开而又极其稀薄的氢分子气体云。分子云内部的物质分布并不均匀，有的地方密度大，有的地方密度小。密度大的地方引力更强些，会将周围的物质吸引过去，使密度变得更大，结果星云内部形成许多高密度中心。随着时间的流逝，这些高密度中心的引力会变得越来越强，结果引起星云的收缩和碎裂。星云的碎块继续收缩和碎裂，如此不断地进行下去，直到碎块的温度和密度上升到一定程度才会停止。密度较大的小碎块成了恒星的“胚胎”，称为原恒星。



鹰状星云的光学图像（上）可见浓厚的尘埃，而红外图像（下）可见尘埃云中有许多新生的恒星

原恒星在自身的引力作用下还要收缩，结果在其中央形成一个星核。星核不断地吸积下落物质而长大。下落物质具有很大的动能，这些动能因粒子的相互碰撞又转化为星核的热能。起初星核物质的密度不大，热能会很快散发掉，因此星核的温度基本不变。随着物质密度的增加，星核变得越来越不透明了，热能很难散发出去，于是星核的温度逐渐升高。温度的持续上升，使内部压力不断增大，并与引力逐渐趋向平衡，于是收缩大大减慢。此时的原恒星进入了主序前阶段，开始在可见光波段发光，这称为主序前星。主序前星发光的能量依然来自引力收缩，通过缓慢的收缩，它内部的温度还在上升。当温度到达一二百万开时，一些很轻的元素如氘、锂、铍等的核反应开始启动。不过，这些元素数量很少，很快就耗尽了。当温度升高到700万开时，开始了氢核聚变成氦核的反应，这时恒星获得了持久的核能供应，于是收缩完全停止，一颗稳定燃烧的恒星就诞生了。



一颗大质量恒星正在形成中

®

有的恒星质量太小，内部温度不能上升到触发氢核聚变反应，只能够点燃氘、锂、铍等元素的核反应。这种恒星的颜色很红、很冷，表面温度只有1000~2000开，被称为褐矮星。（傅承启）

【微博士】恒星为什么是球形的

恒星由灼热的气体组成，它的形状完全决定于引力和内部压力的平衡。因为这两种力都是各向同性（球对称）的，即与方向无关，所以恒星也自然呈球形了。考虑到恒星的自转，星体的实际形状稍有些扁。

太阳有没有同胞兄弟



一团尘埃云内同时形成两颗恒星。右上方还有两颗近邻的恒星

我们的太阳似乎很孤单，所有的恒星都离它远远的，最近的恒星也有4.22光年之遥，而天空中很多恒星却是成群成团地聚集在一起，因为它们通常诞生于同一个母星云。难道太阳是孤零零地形成的吗？如果太阳形成于一个星团，那么它的同胞兄弟在哪里呢？很久以来，天文学家百思不得其解，但是现在有人找到了太阳曾有过同胞兄弟的一些蛛丝马迹：相比其他太阳类型的恒星，太阳有异常高的金属含量，似乎曾受到附近超新星爆发的污染。可是，太阳周围300光年内都找不到有这样大质量的恒星，唯一可能的就是它跑散了。另外，柯伊伯带里的天体也运动得特别快，特别“乱”，好像太阳附近曾有恒星路过，掀起了一股引力风暴，将它们搅得东跑西窜。据此推算，有人认为太阳当初形成于一个直径不超过20光年、含有数千颗恒星的星团，在太阳漫长的46亿年生涯里，这些恒星受银河系引潮力的作用而四散，估计目前散落在大约3000光年的范围里。

这个范围里有上亿颗恒星，要从中寻找几千颗太阳的同胞兄弟就像大海捞针一般困难，何况现在我们只掌握10万颗恒星的数据。不过，天文学家还是信心十足，因为不久将有一颗名为“盖亚”的天文卫星上天，它将能获得10亿颗恒星的数据，到那时也许能够揭开太阳的同胞兄弟之谜了。

（傅承启）

为什么人类能知道恒星的身世

恒星的一生极其漫长，根据不同的质量，寿命从几百万年到数千亿年不等。就是我们的太阳走完一生也需要100多亿年，而寿命长达几百亿年的恒星比比皆是。相比恒星，人的生命实在短暂。如果我们用“滴答”一秒钟来表示一个百岁老人的寿命，那么太阳的寿命就相当于3年。奇怪的是，“只有短短一秒钟寿命”的天文学家却对恒星的一生了如指掌，知道它们从哪里诞生，怎么成长，最后又怎样回归终点。

道理非常简单。这就像节假日的广场，能见到各阶段年龄的人：婴幼儿、少年、青年、成年人、中年人、老人，甚至还有尚孕育在母亲腹中。把这些人的资料收集起来，你就就可以认识到人是怎样诞生，一生又是怎样度过的。同样，天文学家收集了许多星星的资料。这些星星的年龄、质量、大小各不相同，有的尚在形成，有的年轻力壮，有的苟延残喘，有的已奄奄一息。从不同年龄的恒星，天文学家可以分析出恒星是怎样形成和演变的。人类就这样逐渐知晓了恒星的身世。（傅承启）

⑧



距银心100光年的一个星团的照片，年龄大约400万“岁”

【微问题】主序前星的恒星会有多亮？

【关键词】分子云 原恒星 热核反应

为什么科学家总在说“赫罗图”

天文学里有一幅百年不衰的老图，名叫赫罗图。你在天文学家口中总能听到它。当然，这不是打招呼的“Hello”，而是两个天文学家的名字：丹麦天文学家赫兹伯隆和美国天文学家罗素。

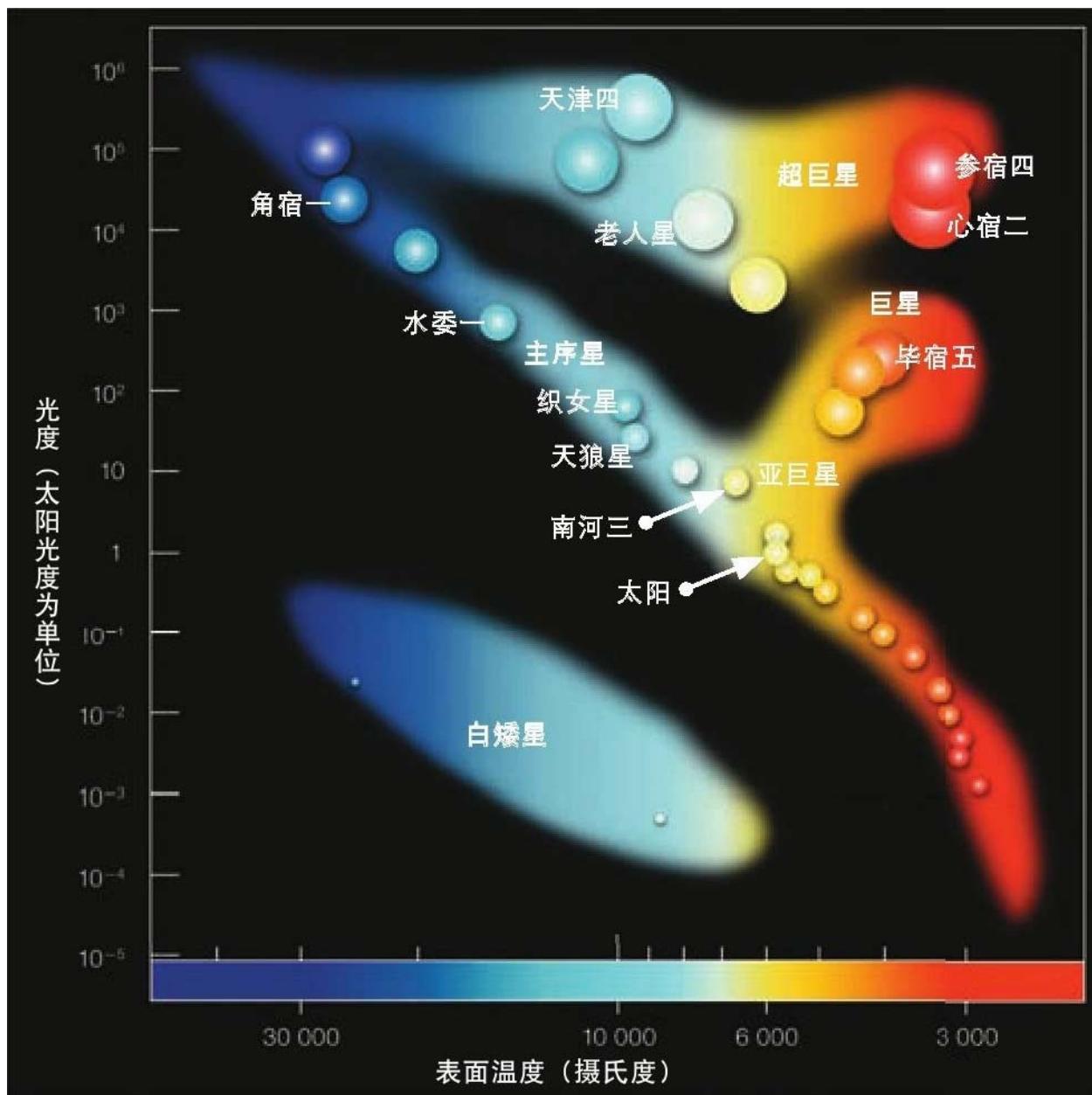
一幅什么样的图，值得天文学家如此关注呢？原来这是一幅恒星的光谱型与光度之间的关系图：它以恒星的光谱型或表面温度为横坐标，以恒星的光度或绝对星等为纵坐标，每颗恒星对应图上一个点。

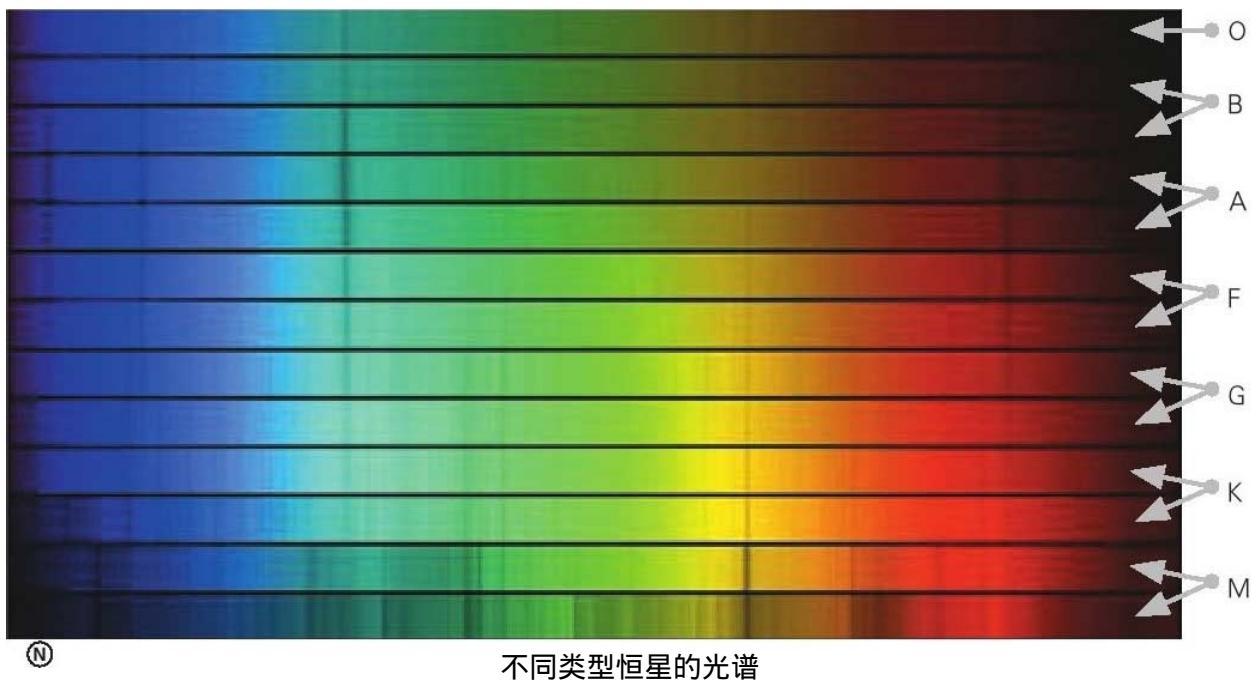
1905年赫兹伯隆发现，颜色相同（也就是表面温度相近或光谱型相似）的恒星，光度可相差几十倍、几百倍，甚至几万倍。他把光度小的称为“矮星”，光度大的称为“巨星”。他还提醒其他天文学家，要他们注意巨星和矮星的差别。

但是，一颗星看起来很暗，并不一定是“矮星”，有可能是因为离我们很远；一颗星很亮，也不一定是“巨星”，有可能是因为离我们很近。所以要分清恒星的巨和矮，还必须知道恒星的距离。可惜，当时知道距离的恒星很少。不过，赫兹伯隆却有妙计，他专挑疏散星团来研究，因为一个星团内所有成员星离我们的距离大致相同，它们之间的亮暗对比也就是真实的光度差别，与距离无关了。1911年，赫兹伯隆把毕星团和昴星团的成员星按颜色和亮度画在了一张图上：横坐标是颜色，纵坐标是星等，这就是现代天文史上第一幅恒星的颜色—星等图。

远在美国的罗素并不知道赫兹伯隆取得的进展，他从1907年起也在研究这个问题，只不过他用到的恒星都是太阳附近的，距离都已经测定，所以这些恒星的光度是知道的。他以恒星的光谱型为横坐标，以恒星的光度为纵坐标，画出了现代天文史上第一幅光谱型—光度图。1913年，罗素发现图上的恒星并不是杂乱无章的，而是排列有序，大部分恒星密集在从左上角（光度大、温度高的区域）到右下角（光度小、温度低的区域）的一

条斜带上。这条斜带后来被称为主序或主星序，主星序上的恒星被称为主序星。除了主序星，还有些星分布在从左到右的水平带上以及主星序左下方的区域，那些星后来分别被称为亚巨星、巨星、超巨星和白矮星。





(N)

不同类型恒星的光谱

因为颜色—星等图与光谱型—光度图是等价的，所以赫兹伯隆和罗素做的是同样的工作。后人就把这两种图统称为赫罗图，而那已是1933年的事情了。

百年以来，赫罗图始终“兴旺不衰”，为什么呢？原来，赫罗图是研究恒星内部结构和演化的重要工具。不同质量、不同化学组成、处于不同演化阶段的恒星位于赫罗图的不同位置。所以在赫罗图上，恒星从形成、成长到壮年、老年和衰亡的全部过程一目了然。其中的道理十分简单：恒星的质量和化学组成，决定了它的内部结构，也决定了内部发生的物理过程，这些结构和过程又决定了恒星外在的光度和表面温度。随着时间的流逝，恒星内部的组成、结构发生了演变，从而引起恒星光度和表面温度的变化。这在赫罗图上反映为恒星位置的变化，从一个区域移到另一个区域。

赫罗图的这种功能，使我们能够立即判断出一颗恒星是巨星还是矮星，化学组成是正常的还是反常的，它处在哪个演化阶段，如此等等。赫罗图这么有用，难怪它能永葆青春！（傅承启）

【科学人】赫兹伯隆

埃纳尔·赫兹伯隆（1873—1967），丹麦天文学家。最初从事化学工作，1901年起从事天文学研究。1937年担任荷兰莱顿大学天文台台长，直至退休。第一幅恒星的颜色—星等图就是他于1911年所绘。赫兹伯隆也是第一个确定造父变星周光关系零点的人。



【科学人】罗素

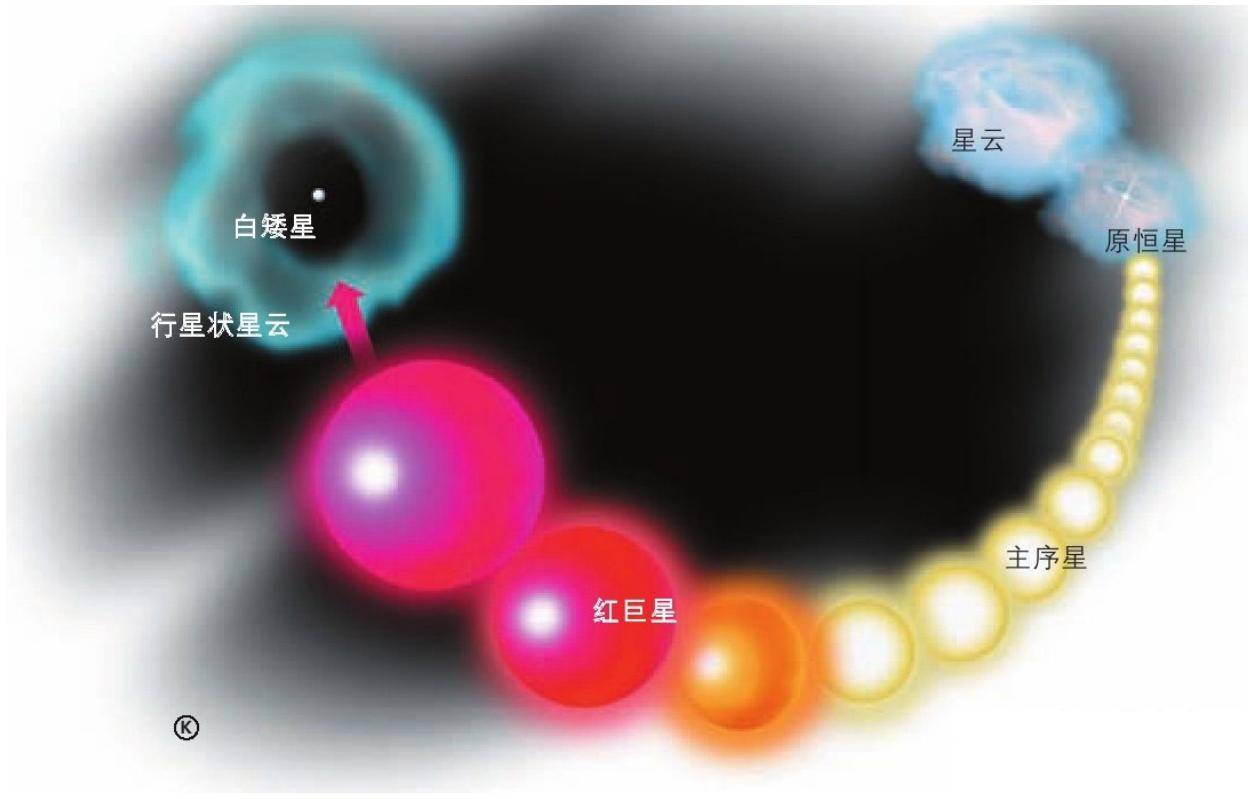
亨利·诺里斯·罗素（1877—1957），美国天文学家。1899年获博士学位，一生几乎全在普林斯顿大学天文台工作，1912年起的35年里都是该台的台长。1913年第一个绘出恒星的光谱型—光度图，早期的恒星演化理论也出自他之手，著名天文学家沙普利是他的学生。罗素还对原子物理学有重要贡献，RS耦合就是以他和物理学家桑德斯的姓名命名的。



⑦

为什么说大多数恒星都处在青壮年时期

几千年来，人类一直在追求长生不老。实际上，人类“不老”的时期——青壮年时期——大约只占人生的50%。相比之下，恒星才算得上真正的“长生不老”：恒星处于主星序上的青壮年时期，占到恒星整个寿命的90%！



小质量恒星的生命周期

恒星一旦形成，便进入了赫罗图的主星序。从主星序开始，恒星依靠氢聚变成氦释放的能量发光，并在那里度过它的绝大部分生涯。这个过程非常缓慢。以太阳为例，太阳每秒钟大约需要消耗6亿吨的氢，而太阳含有2000亿亿亿吨物质，以目前的“燃烧”速度足够它“燃烧”1000亿年。但实际上，太阳不可能“燃烧”那么久，因为一旦核心内的氢耗尽（大约是上述质量的1/10），太阳就要离开赫罗图上的主序位置。即使这样，太阳的青壮年时期也能维持100亿年。恒星质量越大，氢“燃烧”就越强烈，它在主序阶段停留的时间就越短。最亮的OB型星的主序寿命只有几百万年，甚至几十万年，而比太阳质量小得多的K、M型星，主序寿命可与星系的寿命相当，甚至更长。

一旦恒星核内的氢“燃烧”殆尽，氢“燃烧”就会向外层转移，于是恒星开始膨胀。膨胀导致恒星表面温度下降，颜色变红，成为一颗红巨星或者亚巨星，质量更大的可以成为一颗红超巨星。巨星的核心温度很高，足以引起氦的热核聚变反应，生成碳、氧。氦“燃烧”的效率只有氢燃烧的

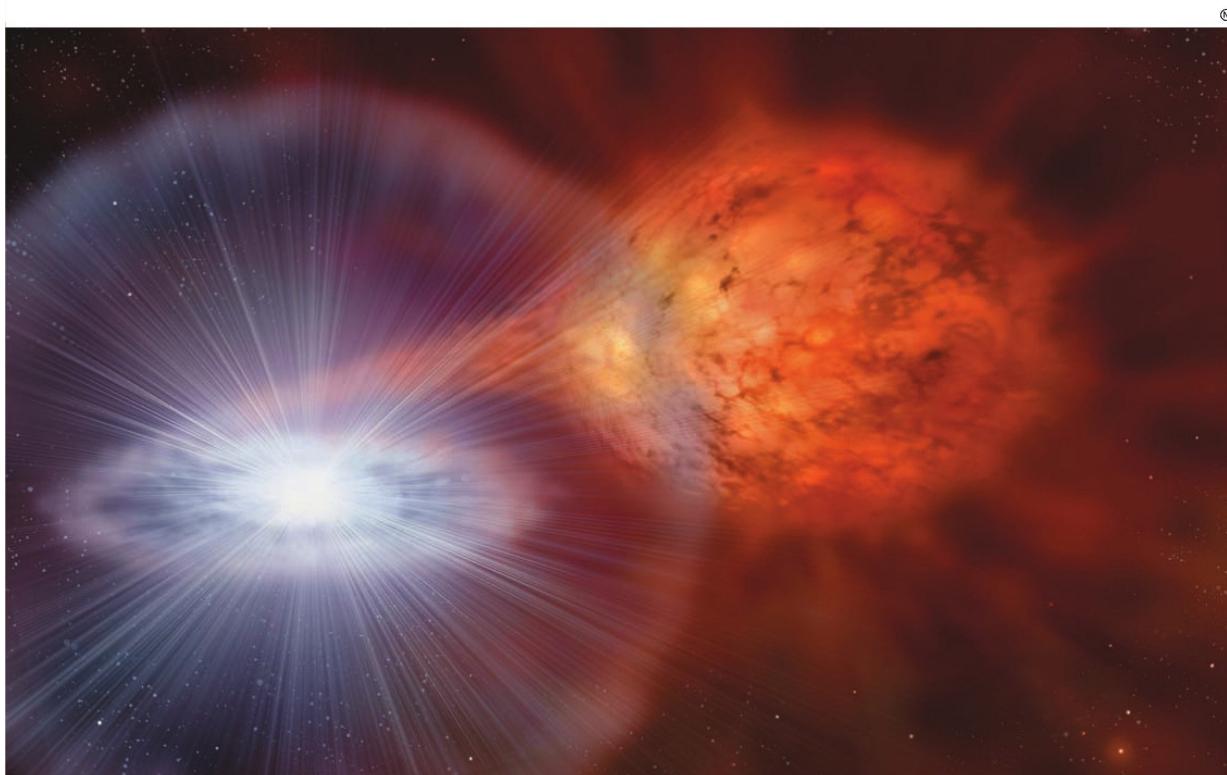
1/10，氦“燃料”又比氢少得多，很高的温度又使氦“燃烧”得很快。所以，恒星的巨星阶段很短，太阳变为红巨星后寿命只有10亿年。巨星的外层大气因为膨胀很快脱落，裸露出碳、氧组成的核心，成为一颗白矮星。质量更大的红超巨星寿命更短，极高的温度使它很快地消耗完所有的核“燃料”，并以超新星爆发的方式结束自己的一生。（傅承启）

【微问题】蓝超巨星的一生是怎样的？

【关键词】赫罗图 主星序 主序星 光谱型

为什么新星不是刚诞生的星

中国古代的文献中有很多关于客星的记载。《汉书·天文志》中就有这样的描述：“元光元年六月，客星见于房”。客星，指的是天空中突然新冒出来一颗星，就像是不速之客的造访。西方的记载中称之为新星。这样的“客人”来得突然，去得也很匆忙。短则数月，长的也就1年左右，新星就会逐渐黯淡下去，直至完全消失。



白矮星因吸积邻近红巨星的物质而爆发的示意图

其实，这并不是一颗新诞生的恒星，因为恒星一旦形成，就会持续稳定地照耀几百万年，甚至几百亿年。那么，这些“客人”究竟是什么来历呢？利用望远镜去追寻这些“客人”的身影，可以发现它们其实并未走开，而是仍然待在原来的地方，只是亮度回到了从前的水平。因为原来亮度太低，人眼很难发现，所以以前一直未受注意。直到它们突然增亮，才误以为来了一颗新的恒星。这些“新星”的光变幅度非常巨大，通常会有几千

倍，大的甚至上千万倍。增亮的过程也非常快，只要短短的几天便可达到最亮，然后再慢慢地黯淡下去。

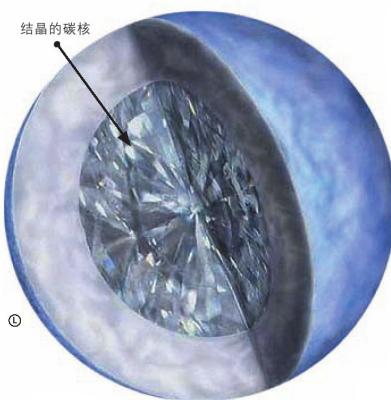
新星究竟是如何发生的呢？它起源于一类特殊的双星系统，是在两颗星的共同努力下完成的。这样的双星系统中有一颗是致密的白矮星，而另一颗则可能是体积庞大的红巨星。白矮星在巨星光芒的笼罩下并不起眼。但是，如果它们靠得足够近，白矮星就有能力将巨星表层的物质（主要是氢）拉拢到自己的周围，然后逐步沉积在白矮星的表面。随着白矮星表面的氢不断堆积，这些物质的温度和压力都会增加。终于有一天，温度和压力升到足够高，便会发生氢变成氦的核聚变反应。这种热核反应不是像一般恒星那样发生在内部，而是发生在白矮星的表面。所以它的能量不是缓慢释放，而是以爆发的形式很快辐射出去，以至于短期内的亮度远远超过了它旁边的巨星。于是就成了我们所见到的新星。

爆发平息以后，一切都慢慢回复到原先的样子。双星结构并没有被破坏，白矮星仍然贪婪地“吸取”着巨星表层的物质。你一定会问，历史会重演吗？是的！实际上，我们已经看到有些新星爆发了不止一次，它们也因此被称为再发新星。

可见，所谓的新星，既不是新诞生的恒星，也还未到恒星的末日，其实只是某些老年双星玩的把戏而已。（邵正义）

为什么宇宙中会有巨大的“钻石”

1992年，科学家们在半人马座天区发现了一颗距地球50光年、质量相当于1.1个太阳的白矮星BPM37093。观测发现它有脉动的振荡，科学家由此推测其内部已经大部分冷却结晶。这颗白矮星主要由碳构成，而在地球上碳的结晶形态就是钻石，因此有的科学家把它比喻成一颗超大型的钻石。这颗钻石有多大呢？估计有 5×10^{29} 千克，即25亿亿亿克拉。相比之



“钻石”白矮星BPM37093结构图

下，地球上最大的钻石“非洲之星”只有530克拉。科学家们开玩笑说，就算全世界的富人加在一起也买不起这么大的钻石。他们根据“甲壳虫”乐队的一首歌《戴着钻石的露西在天空中飞翔》给它起了一个昵称：“露西”。

如果未来科技的发展能让我们接近这个大钻石，是不是能从上面凿下一点来做戒指呢？恐怕不行。因为白矮星中的物质密度非常大，高达 $0.1 \sim 10$ 吨每立方厘米，一汤匙这样的“钻石”重量就和一辆汽车相当。

这不难理解，因为这样一个超重钻石的直径仅约3000千米，相当于把太阳压缩到月球这么大小，密度当然会很高。这种压缩是在恒星演化的末期进行的。当“露西”前世恒星的燃料燃烧完之后，无法再抵抗自身的引力，就会不断坍缩。这种压力之大使得原子中的电子与原子核脱离，恒星内部成为一片飘浮着原子核的电子“海洋”（电子气体）。随着星体的收缩，电子气体的密度也不断增高。但是，电子气体的密度增大有一定的极限。简单地说，我们可以把电子想象成需要占据一定空间的粒子。如果它们挤在一个很小的体积内，电子之间就会因为拥挤，产生相互排斥的压力。这种压力称为“电子简并压”，它会阻挡进一步的引力收缩，于是恒星在电子简并压和引力之间达到一种平衡，白矮星“露西”就这样诞生了。

像“露西”这样的白矮星的质量存在一个上限，这个上限是1.44倍太阳质量，称为“钱德拉塞卡极限”，是由印度裔美国天体物理学家钱德拉塞卡发现的。只有小于这个质量，白矮星才可以依靠电子气体的简并压来平衡自引力。一旦超过这个质量上限，电子简并压就无法抵抗星体自身的巨大引力，星体会继续向内快速坍缩，形成中子星或黑洞。太阳以及银河系中的大部分恒星，演化到末期的质量都小于钱德拉塞卡极限，因此它们中有许多都会变成巨大的钻石。（柴一晨）

【科学人】钱德拉塞卡

苏布拉马尼扬·钱德拉塞卡（1910—1995），印度裔美国天体物理学家，1983年诺贝尔物理学奖获得者。1930年20岁的钱德拉塞卡在从印度开往英国的轮船上，计算并发现了白矮星的质量上限为1.44倍太阳质量。这就是著名的钱德拉塞卡极限。为纪念他在天体物理领域多方面的卓越贡献，美国航空航天局将1999年发射的X射线天文卫星命名为“钱德拉”。

【微问题】新星爆发平息后再次爆发要多少时间？

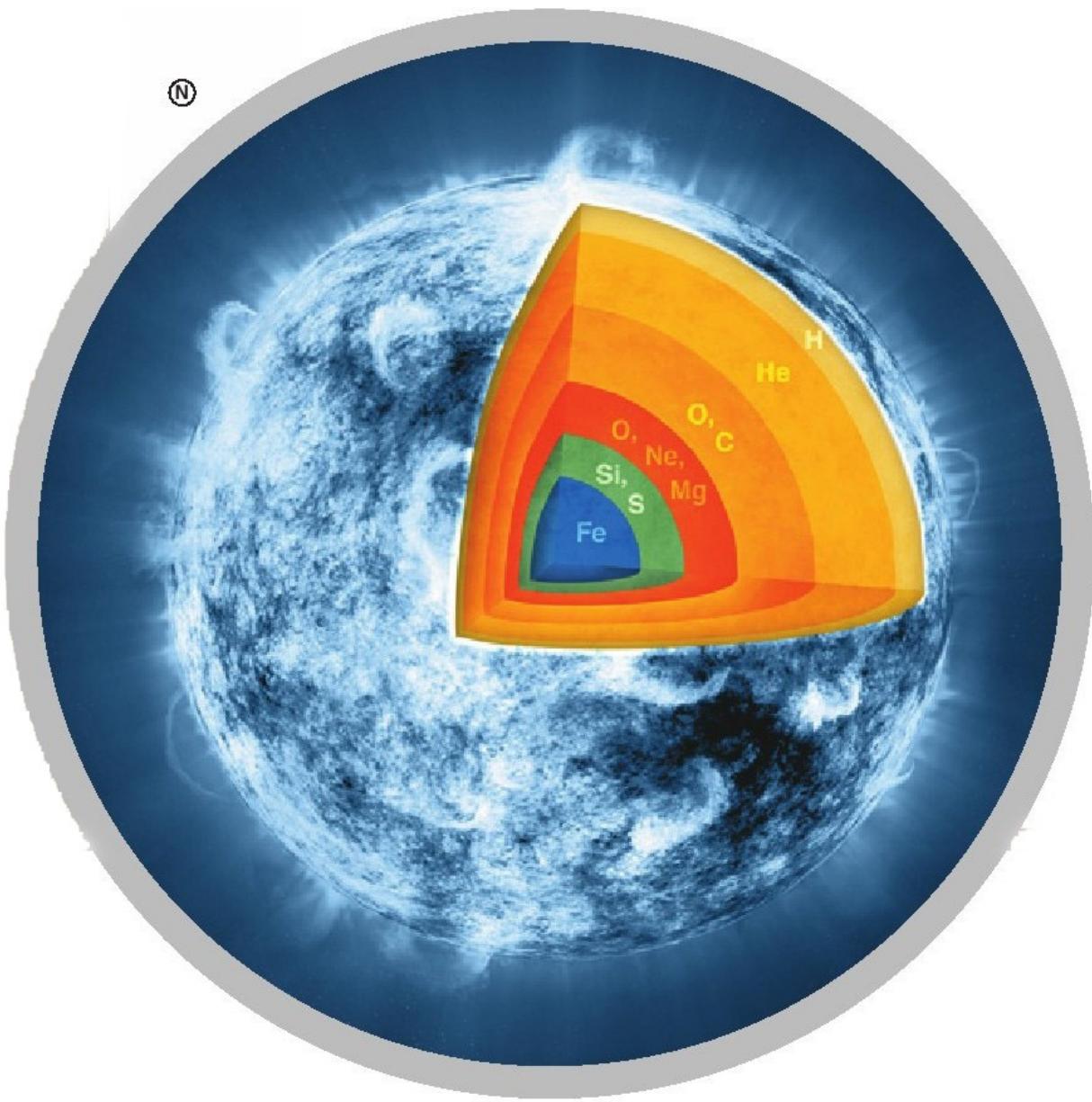
【关键词】新星 白矮星 钱德拉塞卡极限



超新星会毁灭地球吗

超新星爆发，恐怕是恒星世界里最剧烈的事件了。一次超新星爆发所释放的能量可以相当于太阳终其一生所辐射的光能的总和。超新星爆发时的辐射，有很大部分是在高能区域，即大量的紫外线和更高能的X射线、 γ 射线。除此之外，各种由原子核、电子构成的物质流也以几千千米每秒的速度被抛射出来。幸亏我们地球不是这样一颗恒星的行星，否则毫无疑问会在爆发中“灰飞烟灭”。

如果不在同一个恒星系统里，情况就不会那么糟。但是超新星对地球有多大的影响，与其距离和爆发的强度密切相关。离地球100光年以内的超新星称为近邻超新星。在几十光年的距离上，一个超强的超新星爆发，足以对地球产生一些间接的影响。首先是高能的 γ 射线，可能破坏地球大气的臭氧层，使得地球表面暴露在对生物有害的太阳紫外线与宇宙线之下。几万年之后，超新星的抛射物质到达地球，再次引起宇宙线的急剧增加。宇宙线强度的大幅增高，很可能加剧动植物的基因突变，地球上生物圈的进化进程也许会就此改变。



大质量恒星演化晚期的洋葱状分层结构

环顾一下我们太阳系的周边，会不会有这样规模的超新星呢？离我们最近的比邻星（4.22光年），身处一个“三口之家”，兄弟3个都是和太阳差不多的恒星，自然都不会成为超新星。在几光年至几十光年范围里的亮星有天狼星、五车二、大角星、牛郎星和织女星等，但它们都只有2倍左右的太阳质量，还远远达不到超新星爆发所需要的“大块头”。而达到了超新星质量标准的恒星，离我们最近的都在100光年以外，其中相对较近的几颗都

正值壮年，离爆发还有几百万年以上的时间。所以，担心超新星对人类的影响，恐怕也是属于杞人忧天的。



⑩

距太阳约8000光年的船底座η星可能正在经历“超新星”爆发前的“热身”——不稳定的小规模爆发

那么地球的最终命运究竟会如何？这将同我们太阳系的“国王”——太阳的命运息息相关。再过50亿年，太阳核心处的氢耗尽之后，就会进入红巨星阶段，太阳的外层会急剧膨胀，以至于超过地球的公转轨道，地球则被这颗超级红太阳的外层大气“吞噬”。到那时，地球的末日也许才真正来临。如果人类文明延续到那一天，应该早就找到更好的栖身之地了。（邵正义）

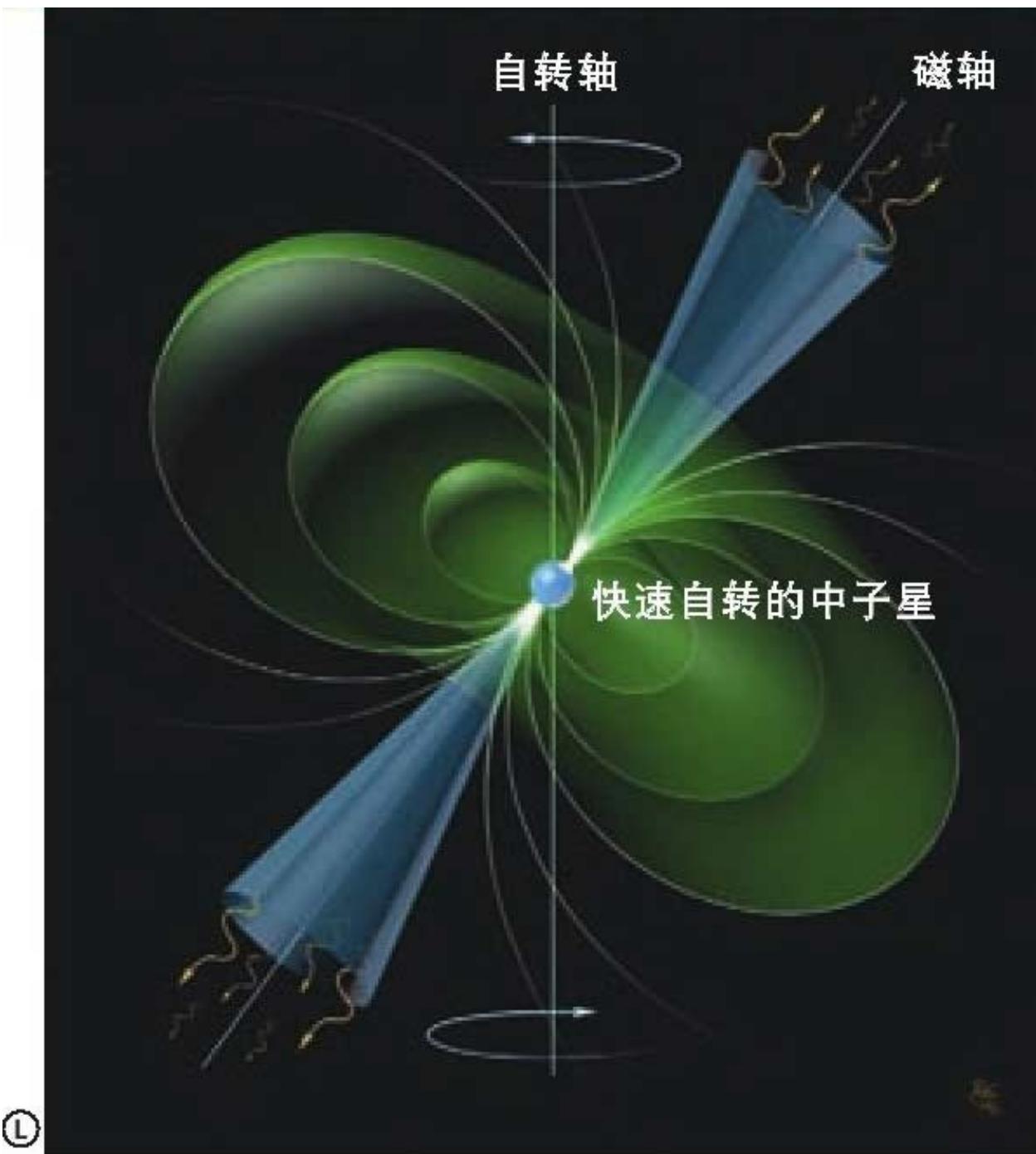
为什么“小绿人”能发来这么稳定的电报

1967年，年仅24岁的研究生乔丝琳·贝尔，在剑桥大学卡文迪许实验室检测射电望远镜接收的信号时，无意中发现了一些有规律的脉冲信号，这立刻引起了她的注意。仔细的分析表明，这些脉冲信号的周期短促而稳定，仅为1.337秒。如此稳定的脉冲通常只能来自高速自转的孤立天体。但如此短暂的周期，恐怕连致密的白矮星都会在离心作用下瓦解。当时的已知天体都无法满足如此严苛的条件，以至于贝尔一度把它们戏称为外星“小绿人”发来的电报。在接下来不到半年的时间里，又陆续发现了数个这样的脉冲信号。这时人们才恍然记起，30多年前曾有人预言存在一种致密天体——中子星。中子星本身存在很强的磁场，可以把中子星的辐射封闭起来，只沿着磁轴方向从两个磁极区向外辐射。当磁轴和中子星的转轴不一致时，辐射就会像探照灯一样循环扫射。如果观测者正好处在被扫过的天区里，就会收到这种脉冲似的闪耀，所以这类天体就被称为脉冲星。脉冲星的发现使当时该射电项目的负责人、贝尔的导师安东尼·休伊什教授获得了1974年的诺贝尔物理学奖。



W

科幻作品中想象的“小绿人”

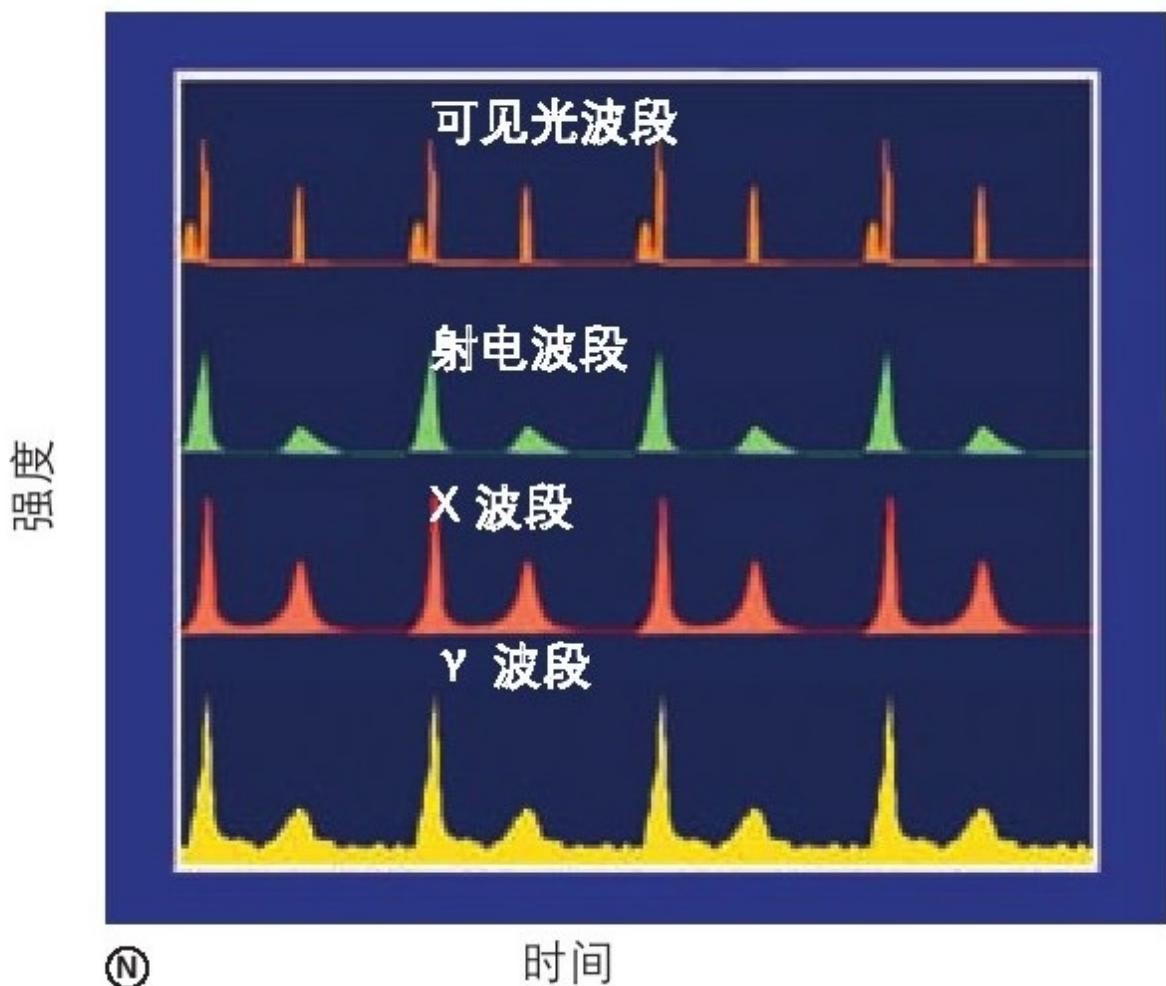


快速自转的中子星像旋转的探照灯那样沿磁轴发出辐射束

脉冲星常常躲藏在美丽的星云中，这些星云是它们“前世”恒星的“骸骨”或者说“灰烬”，称为超新星遗迹。大质量恒星在生命的最后阶段燃料耗尽时，会在自身的引力作用下坍缩，这种坍缩所产生的压力极大，能把电子“压入”原子核，并与质子相结合而生成中子。中子不带电荷，它们可以

摆脱核的束缚而形成中子气体。中子气体也像电子气体一样存在“中子简并压”。如果星体内核质量小于3.2倍太阳质量（称为奥本海默极限），高密度的中子气体所提供的“中子简并压”将增大到能阻止引力坍缩，使内核达到一种平衡态。内核坍缩累积的巨大引力势能传递给外围物质，就会发生超新星爆发。爆发会把星体外层物质抛向四周。抛射过程中的冲击波与星际介质作用，会产生各种辐射，形成美丽的星云。著名的蟹状星云、超新星1987A、船帆座超新星遗迹、第谷超新星遗迹等都是这样形成的。而爆炸后遗留的内核就是脉冲星。

脉冲星的物质密度非常高，一块方糖大小的脉冲星物质的质量可以和地球上的一座山相比。但是一个典型的中子星的直径只有十几千米，还不到一个中等城市的大小，因此它非常暗，无法用光学望远镜直接观测到，只有当它狭窄的射电辐射束扫过地球时，我们才能观测到它。脉冲星的自转极快，最快的自转周期可以达到毫秒量级。这是因为脉冲星“前世”的巨大恒星坍缩时，就像伸开双臂的溜冰运动员突然收起双臂一样，原先缓慢的旋转速度就变得非常快。目前已经发现1600多颗脉冲星，大部分在银盘上。这些脉冲星的脉冲非常稳定，甚至比人类制造的最精准的原子钟还要精准。因此人们正在研究使用这种精准的时钟来给卫星导航。（邵正义柴一晟）



⑩



蟹状星云

【微博士】天关客星和蟹状星云

据中国史料记载，宋代至和元年五月己丑（1054年7月4日），一颗新见的亮星出现在天关星（金牛座ζ）附近，最亮时有23天白昼都可以看见。这是一颗超新星，其外围部分因爆发而膨胀，形成了超新星遗迹蟹状星云，而其核心形成了一颗中子星。

【微问题】如果脉冲星的辐射束没有扫过地球，我们也不可能发现它吗？

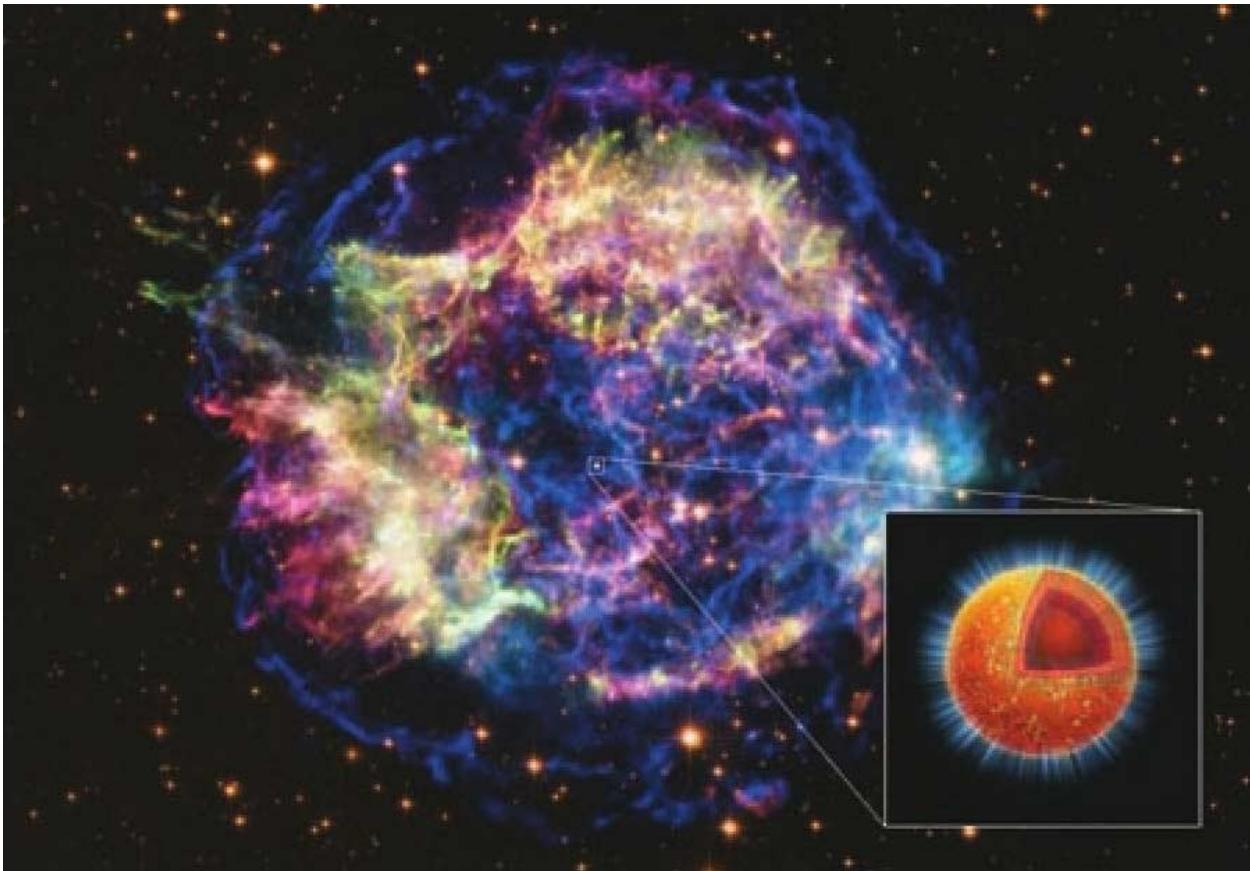
【关键词】脉冲星 中子星 奥本海默极限

为什么说我们的血液中流淌着超新星的“遗产”

宇宙刚刚形成3分多钟的时候，有一个元素核合成的过程。中子和质子结合成氢和氦的原子核，它们的数量分别占总数目的 $3/4$ 和 $1/4$ 。随着宇宙温度不断下降，这些原子核会和电子进一步结合成氢原子和氦原子。所以，在宇宙的极早期，宇宙中的元素几乎全都是氢或者氦，最多加上少量的锂。

那么比氦和锂更重的元素，比如有机物中的碳、蛋白质中的氮、我们吸入的氧，以及地球上富含的硅和各种各样的金属元素等，都是从何而来的呢？这还得归功于恒星。恒星一旦形成，其内部就是一个温度极高的“大熔炉”，轻元素在里面不断地“熔合”成原子序数更高的重元素，同时释放出能量，与恒星自身的引力抗衡。首先是氢的核反应，聚变成氦原子核。氢耗尽以后，如果恒星内部收缩可使温度上升到1亿开，就可将氦核“点燃”，生成碳和氧。如果恒星的质量足够大，这种递进式的核反应会继续下去。随着恒星内部温度的进一步升高，会依次达到各种元素的“点燃”温度。此后是碳、氧、镁、硅等，更多、更重的元素就此产生了。

恒星内部“大熔炉”中的核聚变反应到铁为止。因为在所有的化学元素中，铁原子核的结合能最大，或者说铁是结合得最牢固的原子核。铁无法像氢、氦等元素一样聚变成更重的元素。因此在大质量恒星演化的末期，当其他轻元素燃烧完之后，中央就会留下一个铁核。铁核不能再燃烧，无法提供能量来抵抗恒星自身的引力，因此会向中心剧烈坍缩。如果铁核的质量小于3.2个太阳质量，则当其原子与电子被压缩成中子时，中子简并压会抵抗住自身的引力。此时恒星内核已经不再压缩，而外部的物质还在快速下落，于是发生剧烈的反弹，星体的外层物质被急剧地向外抛出，形成一次超新星爆发。超新星爆发过程中，大量的铁，还有通过中子俘获过程产生的比铁更重的其他金属元素被抛向太空，返回到星际介质中。在后续的恒星形成时，它们会残留在下一代的恒星中，也可能充斥在围绕这些恒星的行星——比如我们的地球中。



⑩

超新星遗迹仙后座A及位于其中心的中子星

由于铁是我们人类血液中重要的组成元素，承担着运输氧的重任，所以说我们的血液中流淌着超新星的“遗产”，并不是一种夸张的说法。（邵正义）

为什么说恒星世界里也有“代沟”

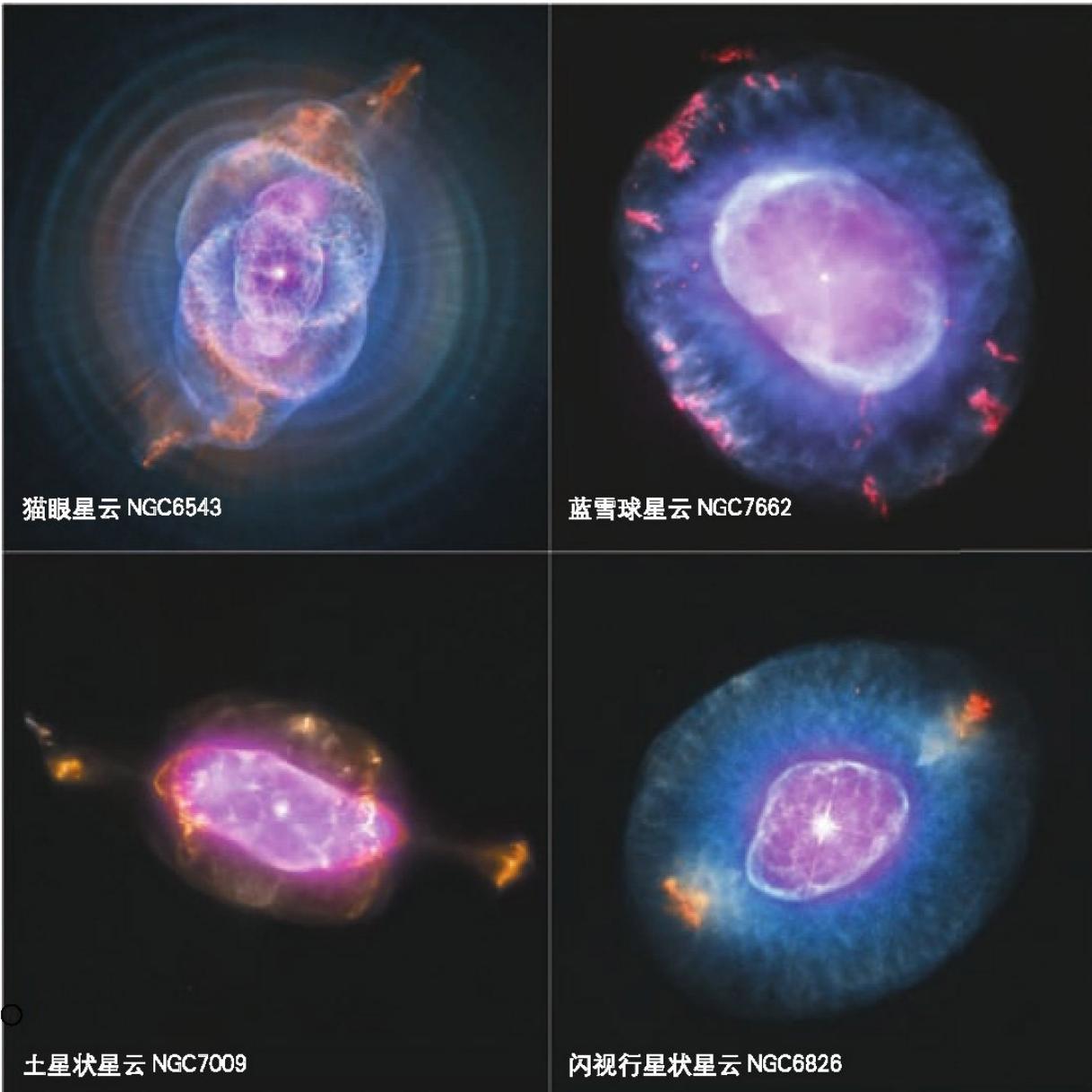
通过分析太阳的光谱，我们知道了太阳中所含的各种元素的比例。占绝大多数的当然是氢和氦。在天文研究中，其他更重的元素被统称为金属元素。太阳的金属元素中含有较多的氧、碳、氖、铁、氮，少量的硅、镁、硫和极少量的氩、钙、镍等。

长期以来，人们一直把太阳当成一颗标准的恒星，以为其他恒星中的

金属含量应该和太阳相差无几。但是事实并非如此。银河系中的恒星大致可以分为两类，它们所含有的金属，一类和太阳差不多，而另一类却很贫乏，称为贫金属恒星。因为恒星中包含什么物质取决于诞生恒星的分子云的成分，所以可以很合理地推断这两类恒星形成时的环境是不同的。

进一步分析那些富含金属的恒星，发现它们主要分布在银河系的盘上，尤其是在疏散星团或者旋臂上的恒星形成区里。这些恒星中有许多大质量恒星。因为大质量恒星的寿命很短，可以判断这些富含金属的恒星诞生的时间并不会太长。我们把它们称为星族I。而贫金属的恒星则基本上分布在银河系的晕中，而且都是年老的小质量恒星，我们称之为星族II。星族II比星族I更早诞生，它们中的小个子恒星一直留存到今天，而那些大个子恒星在诞生不久就匆匆走完了生命历程，通过星风、超新星爆发、行星状星云等形式，将它们制造的金属元素送入星际空间，滋养着剩余的星际介质，从而使得此后生成的星族I恒星可以包含丰富的金属元素。所以，把星族II比喻成星族I的父辈也不无道理。

理论上，恒星还应该有它们的祖辈，称为星族III。它们是宇宙早期第一批形成的恒星，这些恒星中除了氢和氦，就没有其他任何金属元素。寻找这些爷爷级的恒星可是现今天文学的重要课题哦！（邵正义）



猫眼星云 NGC6543

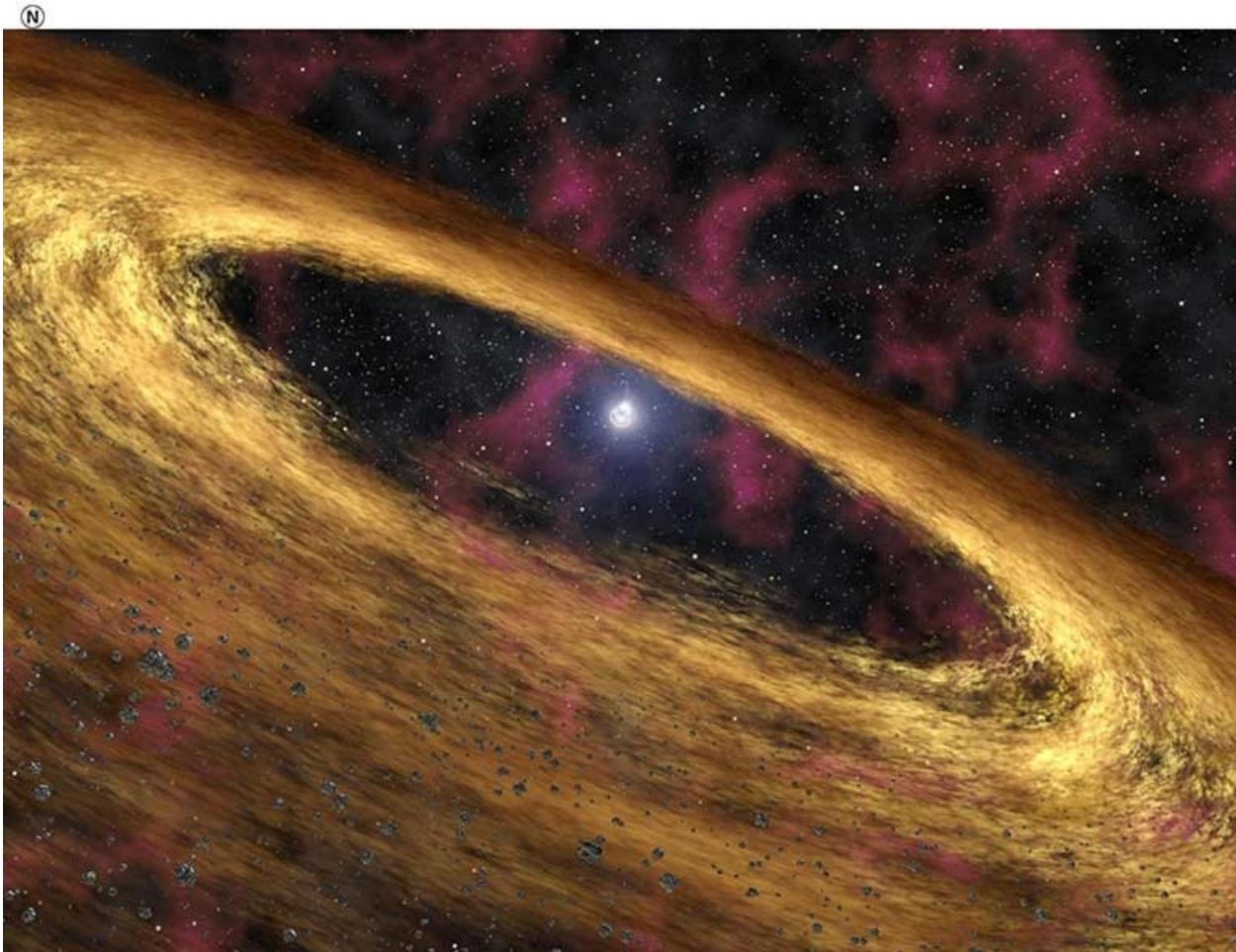
蓝雪球星云 NGC7662

土星状星云 NGC7009

闪视行星状星云 NGC6826

⑩

行星状星云也是超新星的遗迹



超新星遗迹的中心部分，致密的中子星正在吸积周边的星际物质

【微博士】科学家如何知道遥远恒星的化学组成

恒星距离我们十分遥远，不可能从恒星上采点样品拿回实验室分析，那么，科学家们又怎么能知道恒星的化学组成呢？原来是通过分析恒星的光谱。恒星的连续光谱上，有许多粗细不同的亮线或暗线，称为谱线。一条或一组亮线是恒星大气中某种元素受激发射的结果，称为发射线；而暗线则是吸收的结果，称为吸收线。某种元素所能产生的发射线和吸收线的波长都是确定的。因此根据光谱线的波长位置、强弱，就可以推断出恒星大气中对应的元素，以及它们的含量。

【微问题】太阳光正好主要是在我们人眼敏感的可见光波段，这难道是巧合吗？

【关键词】超新星 星族I 星族II 星族III

黑洞是“太空中最自私的怪物”吗

“黑洞”这个名字，总是令人遐想联翩。那么，究竟什么是“黑洞”呢？

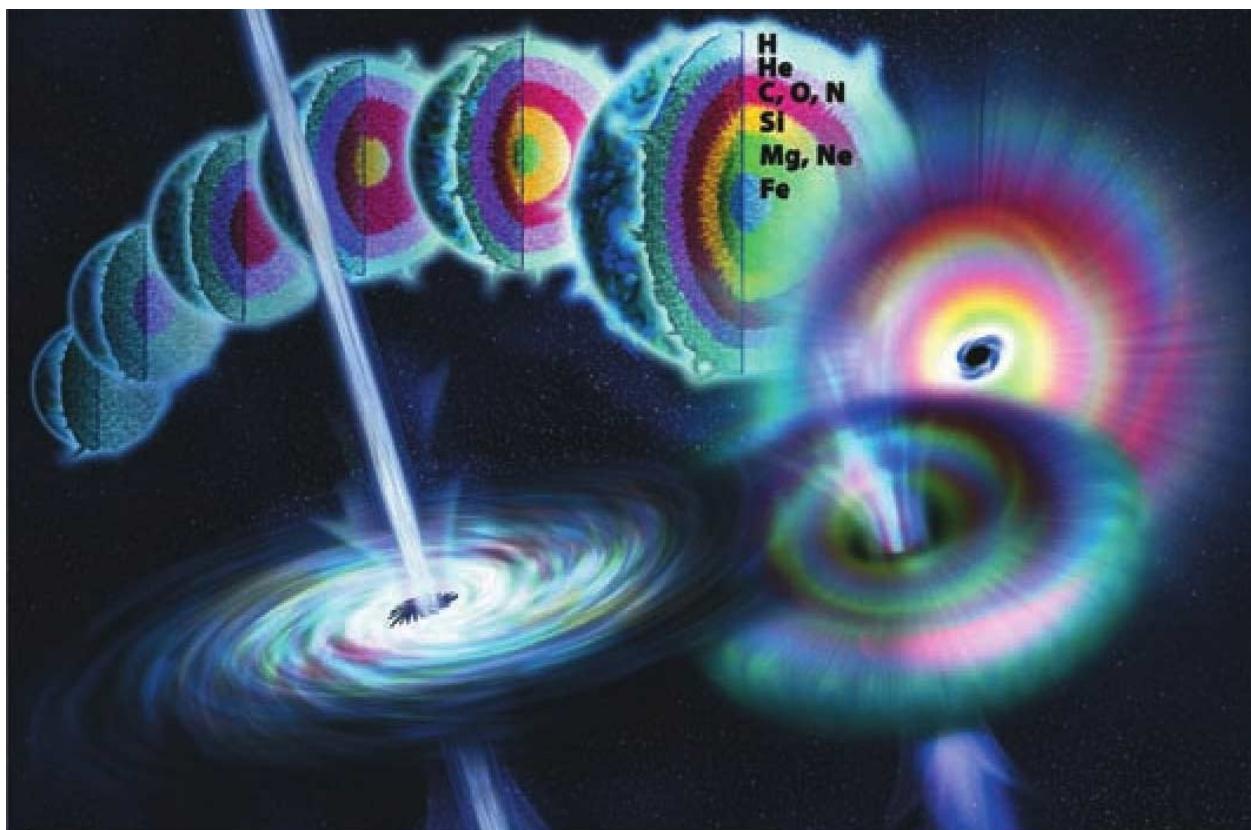
这个名字的第一个字“黑”，表明它不会向外界发射或反射任何光线，也不会发射或反射其他形式的电磁波——无论是波长最长的无线电波还是波长最短的γ射线。因此人们无法看见它，它绝对是“黑”的。第二个字“洞”，说的是任何东西只要一进入它的边界，就休想再溜出去了，它活像一个真正的“无底洞”。

也许有人会想：假如我用一只超级巨大的探照灯对准黑洞照过去，像照妖镜照住“妖怪”那样，黑洞不就“现原形”了吗？错了！射向黑洞的光无论有多强，都会被黑洞全部“吞噬”，不会有有一点反射。这个“无底洞”，照样还是那么“黑”。把这种奇特的天体称为“黑洞”，真是太妙了。黑洞并不是科学家在一夜之间突然想到的。早在1798年，法国科学家拉普拉斯就根据牛顿建立的力学理论推测：“一个密度像地球、直径为太阳250倍的发光恒星，在其引力作用下，将不允许它的任何光线到达我们这里。”

这话是什么意思呢？我们不妨先从宇宙飞船说起。宇宙飞船要摆脱地球的引力进入行星际空间，速度至少要达到11.2千米/秒，否则它就永远逃不出地球引力的控制。这11.2千米/秒的速度，就是任何物体从地球引力场中“逃逸”出去所需的最低速度，称为地球的“逃逸速度”。太阳的引力比地球引力强大得多，因此太阳表面的逃逸速度也要比地球的大得多，为618千米/秒。再进一步，要是一个天体的逃逸速度达到了光速，那么就连光线也不可能从它那里逃逸出去了。这样的天体就是黑洞，拉普拉斯所说的那个恒星便是生动的一例。光是宇宙间跑得最快的东西，既然连光都逃不出黑洞，那么其他一切东西也就休想逃出去了。

随着科学的发展，人们对黑洞的认识也越来越深入。如今，关于黑洞的更准确的说法是：“黑洞是广义相对论预言的一种特殊天体。它的基本特

征是有一个封闭的边界，称为黑洞的‘视界’；外界的物质和辐射可以进入视界，视界内的东西却不能逃逸到外面去。”正因为黑洞如此“只进不出、贪得无厌”，所以才有了一个不雅的外号：“太空中最自私的怪物”。

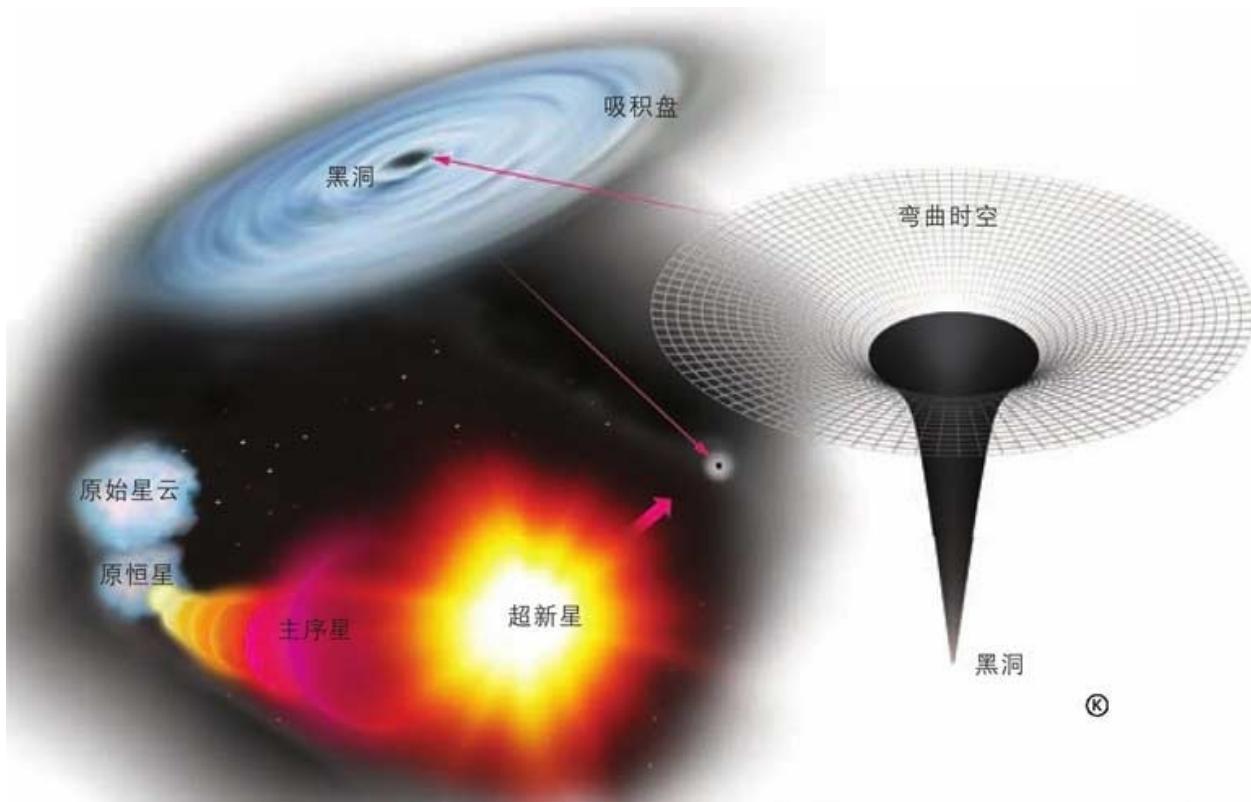


⑩

一颗大质量恒星在演化末期坍缩成黑洞并造成 γ 射线暴的过程。此过程可能在几秒钟内释放出太阳一生所释放的能量

不过，事情也不是那么简单。出乎人们意料，黑洞这个“怪物”，有时候竟然还十分“慷慨”。这又是怎么一回事呢？原来，在20世纪70年代，英国科学家霍金等人以量子力学为基础，对黑洞作了更缜密的考察，结果发现黑洞会像“蒸发”那样稳定地往外发射粒子。考虑到这种“蒸发”，黑洞就不再是绝对“黑”的了。霍金还证明，每个黑洞都有一定的温度，而且质量越小的黑洞温度就越高，质量越大的黑洞，其温度反而越低。大黑洞的温度很低，蒸发也很微弱；小黑洞的温度很高，蒸发也很猛烈，类似剧烈的爆发。一个质量像太阳那么大的黑洞，大约需要 10^{66} （即“1”后面跟着66个“0”）年才能蒸发殆尽；但是质量和一颗小行星相当的小黑洞，竟然会在

10^{-22} (小数点后面21个“0”再跟上一个“1”) 秒钟内就蒸发得干干净净！
(卞毓麟)



恒星级黑洞的形成及其周围的时空结构

为什么说黑洞只有“三根毛”

一颗垂死的巨大恒星不断坍缩，直到成为一个黑洞。这时，它在自身的强大引力作用下还会继续收缩，最终其全部物质将被挤压到一个单一的点上。这个点称为黑洞的“奇点”，那里的物质密度和压力都变成了无穷大。

这类黑洞的结构很简单：一个视界包围着一个奇点。应该注意的是：尽管人们经常把视界称为“黑洞的表面”，其实在这个“表面”上并不存在任何有形的东西。



一个正在吸积周围物质的黑洞示意图

早在1916年，德国天文学家卡尔·施瓦西已经弄清这类天体的性质，因此后来它又被称为“施瓦西黑洞”。施瓦西黑洞都是球状的。假如太阳收缩成为一个施瓦西黑洞，那么它的半径就只有3千米了。这时，它的物质受到极度的挤压，密度将会大得难以想象：6万亿吨每立方厘米，一粒芝麻那么大小的东西就有上百亿吨重！

球状的施瓦西黑洞既不自转，也不带电荷，是最简单的黑洞。另一方面，最复杂的黑洞是既有质量又带电荷，同时还在自转的黑洞。因为极其强大的引力把黑洞的一切细节都摧垮了，所以远方的观察者最多只能探测到黑洞的三个物理量，即质量、电荷和表明黑洞自转快慢的角动量。科学

家把这种情况称为“黑洞无毛”，意思是说黑洞没有任何繁琐、复杂的细节。在中国，因为无人不知《三毛流浪记》中那个可爱的小三毛，所以大家经常半开玩笑地把质量、电荷和角动量称为黑洞的“三根毛”！（卞毓麟）



黑洞“扭曲”了从它附近经过的光线，产生了“爱因斯坦环”[◎]

【科学人】施瓦西

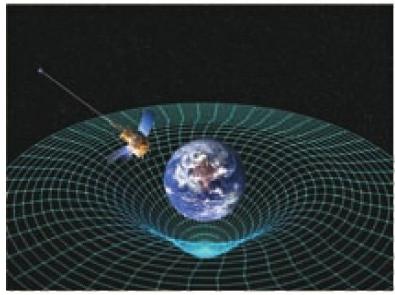
德国天文学家卡尔·施瓦西（1873—1916）16岁时就写出了第一篇天文学论文。他首先依据爱因斯坦建立的广义相对论，研究质量聚集到一个点上的天体周围的引力特征。这种天体后来被称为“施瓦西黑洞”。1916年因病逝世，年仅43岁。



◎

【微博士】时空

光线从太阳传到地球，要花8分19秒的时间。因此，我们看见的太阳，其实是它在8分19秒以前的模样。同样，观看一个离我们1亿光年远的星系，我们看见的其实是它在1亿年以前的形象。谁也不可能把时间的流逝与空间的伸展截然分开，因为它们本来就是一个统一的集合体，即“时空”。时空是四维的：空间占三维（左右、前后、上下），第四维就是时间。



◎

【微问题】为什么黑洞质量越大，密度反而越低？

【关键词】黑洞 视界 奇点

为什么说天上的星星也抱团

使用天文望远镜观察星空，经常会惊讶地发现，肉眼看去单独的一颗星，其实是由两颗甚至更多的星所组成。我们把位置靠得很近的两颗恒星称为双星。银河系中大约有一半恒星是双星，可以说，天上的恒星也喜欢成双结对，“单身族”并不占优势。

同样是双星，情况也各不相同。有的是一颗恒星绕另一颗恒星运动，依靠万有引力相互维系，这叫“物理双星”；有的双星则仅仅是投影关系，看起来靠得很近实际上相距甚远，可谓“貌合神离”，这叫“光学双星”或称“视双星”。还有一种双星彼此靠得非常近，在望远镜中看仍难以分辨，但通过其光谱的变化可以了解到有两颗星相互绕转，这种双星被称为“分光双星”。

数量多于2颗而小于10颗的恒星系统称为“聚星”，存在3颗恒星的聚星系统称为“三合星”，4颗的称为“四合星”，以此类推。而恒星数超过10个并且具有物理联系的星群就称为“星团”。星团中的恒星，通常原本就是在一起形成的，它们像双星和聚星一样，相互之间靠万有引力保持联系，因此在很长时间里不会散开。星团内的恒星数目悬殊不等，可以有几十颗、几百颗乃至几十万颗甚至上百万颗。根据星团所包含的星数、形状及其在银河系中的分布位置，又分成“疏散星团”与“球状星团”两大类。



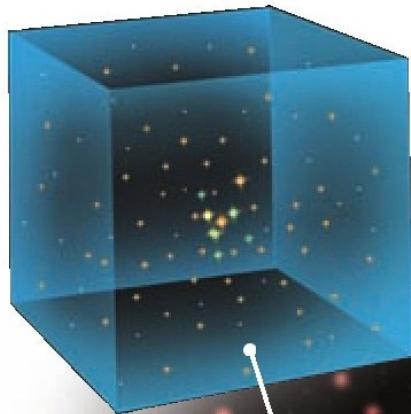
⑩

疏散星团NGC265

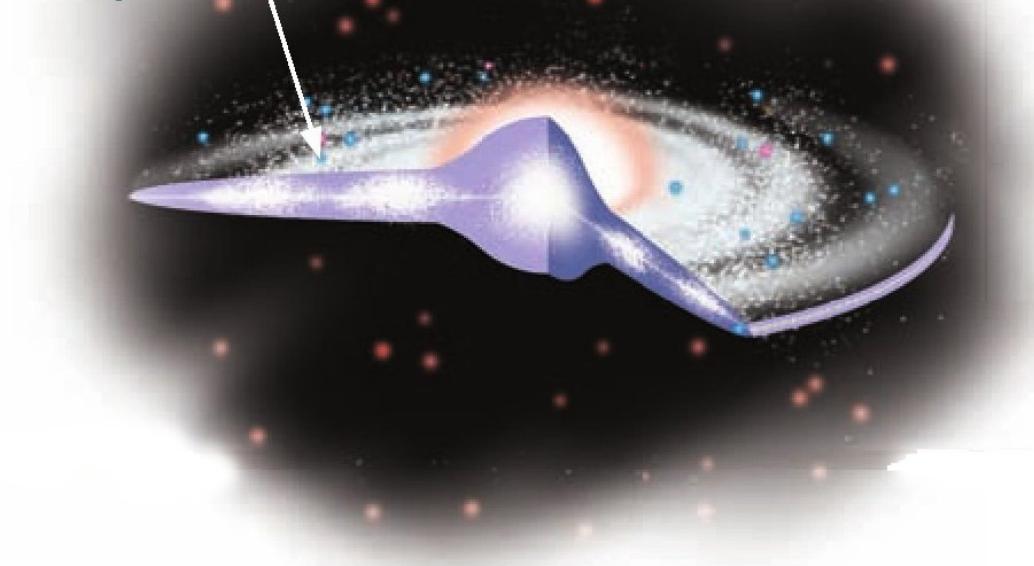
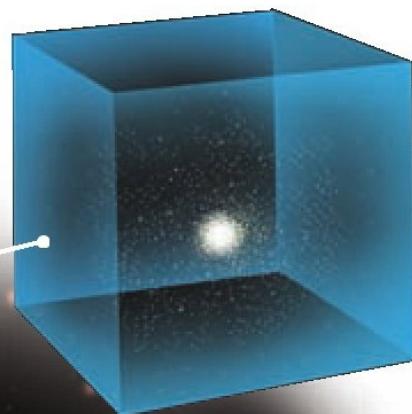
顾名思义，疏散星团的星数较少，一般有几十到上千颗，组成结构松散的星际“联盟”。疏散星团的形态不规则，直径大多数在3光年到30多光年范围内。星团的成员星分布较松散，用望远镜观测，容易将成员星一颗颗区分开。少数疏散星团用肉眼就可以分辨，比如金牛座中的昴星团和毕星团，还有巨蟹座里的蜂巢星团等。昴星团又叫七姐妹星团，是最易识别的星团之一。多数人只能见到其中的6颗较亮的恒星，但在观测条件很好时，目力特别敏锐者最多可看到11颗，使用一般的双筒望远镜，则很容易分辨出其中的几十颗星。疏散星团的另一个特点是它们大多集中在银道面附近。银河系内迄今已发现2000多个疏散星团，同太阳的距离大多数在1万光

年以内。更远的疏散星团无疑也是存在的，不过它们或者处于密集的银河背景中不易辨认，或者受到气体尘埃的遮挡无法看见。据推测，银河系中疏散星团的总数可能有上万个之多。

疏散星团一般位于银道面附近



球状星团一般分布在银晕中



◎

星团在银河系中的分布

天文学家发现，疏散星团的“年龄”通常比较年轻，最年轻的只有几百万年，大多数在几千万年到几十亿年。有些疏散星团所在的区域，甚至还有恒星正在形成之中。

银河系内，目前聚集成团的恒星只占少数。相对于这些星团中的成员恒星而言，大部分弥漫分布的恒星又称为“场星”。太阳不属于任何星团，

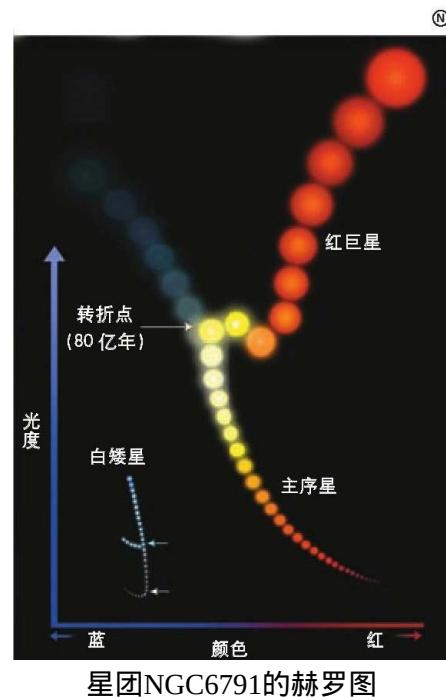
就是一颗普普通通的场星，它离开银河系中心约2.6万光年之遥，随同其他千亿颗恒星一起围绕着银河系中心转动。（陈力）

【微博士】星团赫罗图

疏散星团和球状星团内的恒星众多，单个星团内的所有恒星到我们的距离都大致相同。于是，我们所观测到的星团内恒星的亮度，就仅与它们真实的发光强度相差一个比例系数。这样，用赫罗图研究星团性质就特别方便。在赫罗图中，每个星团内恒星都集中分布在一定的演化轨迹上，构成一个序列。不同星团的演化轨迹有所不同，尤其主序上“转折点”的位置与星团年龄有直接关联。星团的研究，在天文学研究工作中占有重要的地位。

为什么说球状星团是银河系中的“元老”

球状星团由成千上万，甚至上百万颗恒星组成，外貌呈球形，是一个名副其实的大“星球”。与疏散星团相比，球状星团结构紧密。星团直径15~300光年，成员星空间密集程度平均约为太阳附近恒星密度的50倍，中心恒星密度则大到1000倍左右。在天文望远镜的视野里，球状星团群星荟萃的壮观景象常令人叹为观止。



星团NGC6791的赫罗图

W



球状星团M53

在银河系中已发现的球状星团有150多个，总数估计不超过250个，比疏散星团少得多。它们在空间的分布颇为奇特，其中有三分之一就在人马座附近面积仅占全天空百分之几的范围内。美国天文学家沙普利正是根据这个现象领悟到太阳离开银河系中心相当远，而银河系的中心就在人马座方向。跟疏散星团不同，球状星团的分布并不集中在银盘上，而是大致呈球对称向银河系中心集中。它们离开银河系中心的距离大多数在6万光年以内，只有少数分布在更远的地方。从地球上看，最大最亮的球状星团是位于半人马座内的ω星团，距我们约1.6万光年。

银河系的球状星团里大多是些年老的恒星，在广袤的宇宙中已度过约100亿年的漫长时光。天文学家利用星团赫罗图测定某些球状星团的年龄，

发现它们达到了135亿年左右，与银河系自身的年龄相仿，说明这些星团是在银河系形成之初就形成的，堪称银河系中的第一代“元老”。正因为如此，天文学家把这些星团，尤其是那些年老的球状星团，看成是研究恒星与星系演化的“活化石”。（陈力）

有没有孤立于星系之外的恒星

群居，似乎是恒星的特征，这是恒星成群诞生的结果。最大的恒星集团就是星系，数百亿、数千亿颗恒星集聚在一起。那么，在星系以外有没有孤立的恒星呢？答案是有的，天文学家也已经观测到了。

原来，这些孤星是被星系“大家庭”所抛弃的“孤儿”。星系在宇宙空间经常会发生相会甚至碰撞，这种碰撞有时非常剧烈，彼此间的引力牵曳常常会造成大规模的恒星形成，也会把少量的恒星抛出星系。这些被抛出星系的恒星就成了游荡在星系际空间的孤星。生活在这些孤星周围行星上的生命是很可怜的，它们的夜空没有星星，一片漆黑，只有一两个暗弱的小云斑，那就是抛弃它们的星系。（陈力）

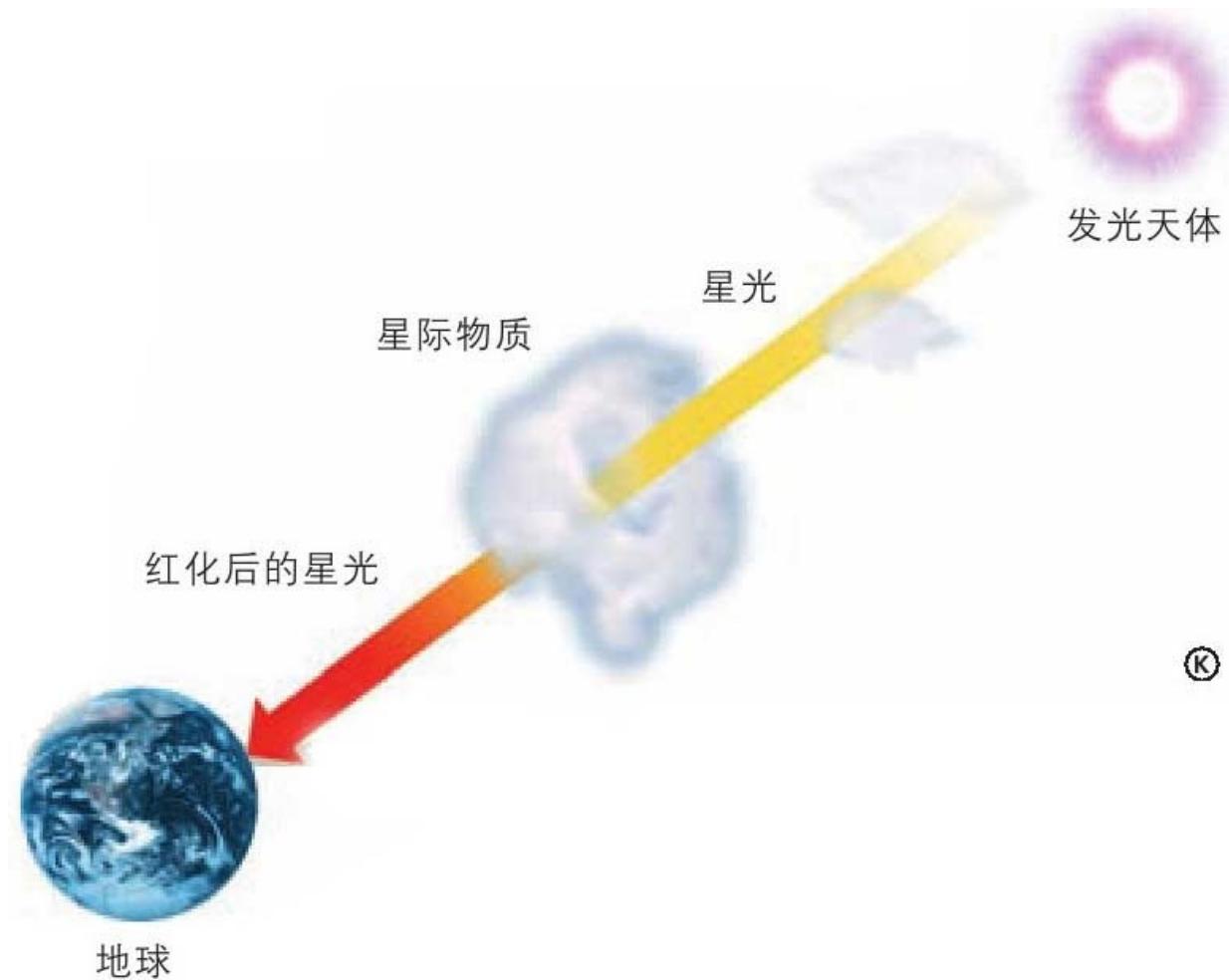
【微问题】是什么力量使得恒星聚集成团？

【关键词】聚星 疏散星团 球状星团

为什么说星际空间尘土飞扬

在银河系里，恒星与恒星之间的距离非常遥远。平均来说有3~4光年，就像是相隔了几千米的两个足球。如此广袤的星际空间里，是否只有无尽的空虚呢？答案是否定的。当我们仔细注视银河的时候，会发现有一条边界模糊的不规则阴影，贯穿了整条银河。这就是弥漫在银盘各处的尘埃。

星际尘埃的温度很低，只有十几开到一二百开，所以它们不像恒星那样发出可见光，而是在明亮的银河背景前面，显现出它们的“剪影”。尘埃本身也有自己的“热辐射”，只是辐射集中在波长很长的波段上，从十微米到几百微米，就是我们平常所说的中、远红外线。在这个波段上，恒星早已黯淡无“光”了。如果我们用红外波段去观察银河系，就会看到这样一幅图景：到处都是弥漫的、分布不规则的尘埃，像是疏密不一的云块，也像是被风扬起的沙尘。



远处天体发出的光穿过星际物质时，蓝光比红光更多地被尘埃吸收和散射，造成星光偏红

尘埃大多数集中在银道面附近，虽然密度极低，平均每立方米只有几个尘埃粒子，但是从我们太阳系看过去，整个银盘上的尘埃足以累积成一条浓密的尘埃带。尘埃颗粒的大小不一，平均来讲只有0.1微米。它们的成分主要是碳、氮、氧、硅等元素构成的硅酸盐、石墨等分子，以及水和微量的氨、甲烷等混合而成的冰状物。随着观测的深入，还发现了越来越多的复杂有机分子。20世纪30年代以来，天文学家先后在尘埃中发现了甲基分子、氰基分子、羟基分子和一氧化碳分子。20世纪70年代以后，随着观测技术大幅度提高，更多结构复杂的大分子被发现。其中最有名的要数多环芳香烃（简称PAH）。它们是含两个以上的苯环（碳原子构成的六元环）结构的有机化合物。由于温度很低，这些分子都以固态的形式存在。PAH有一个非常好的观测特性，它在几乎所有的红外波段上都有特征发射

线，比较容易辨别；而且PAH在尘埃中到处存在，常常被天文学家作为尘埃分布的示踪源。



猎户座马头星云（暗星云）

⑩



玫瑰星云 (发射星云)

(K)



(K)

三类不同的星云

尘埃是以固体形式存在的，而在星际介质中，比尘埃更多的是氢和氦等元素组成的气体。温度高的以离子形式存在，温度较低的以原子的形式存在，而温度低至几十开时，就以分子气体的形式存在。分子气体虽然总量不多，但一般是以云团的形式聚集在一起，形成分子云。分子云中通常还混杂着大量的尘埃。在某些局部，分子云的密度高出物质平均密度几十倍，形成一个相对来说区域不大但很密集的云块，这就是观测上所说的星

云。

星云本身不发出可见光，而且其中含有大量的尘埃，所以有可能在远方恒星的背景上看到云块的阴影，我们称之为暗星云；有些星云附近或者云中有一些很亮的恒星，星云因反射这些恒星的光而被我们看见，称为反射星云；如果这些亮星的温度很高，能够发出能量很高的光子，星云还有可能在它们照射下受激发光，成为发射星云。

严格来说，这些由分子云构成的星云应该称为弥漫星云，它们通常是恒星的诞生地，也被称为是恒星的摇篮。而另外两种常见的弥散天体——行星状星云和超新星遗迹，虽然也被称为星云，实际上却是恒星演化末期的产物，和弥漫星云是两类完全不同的天体。（邵正义）

为什么说猎户星云是恒星的摇篮

猎户座是冬季的北天星空里最壮观的星座。猎户星云就位于“猎户”腰间“佩剑”的中部，人眼刚好可见。

借助望远镜，很容易识别这是一个弥漫星云。星云中间有4颗明亮的恒星，大致成梯形排列，它们强大的紫外线辐射，将周围的星云物质照耀得瑰丽无比。能发出如此强劲光芒的，通常是年轻的大质量恒星，猎户星云也因此成为天文学家重点关注的目标。

使用大型天文望远镜，人们发现了星云中更多的恒星。尤其是哈勃空间望远镜，在上述梯形亮星的周围总共辨识出了1000多颗恒星。它们就像是散落在尘埃中的宝石，星星点点，若隐若现。研究表明，这些恒星的年龄大多只有几十万年到一百万年，和太阳年龄约46亿年相比，它们毫无疑问都是摇篮中的“婴儿”。

猎户星云就像是一个天然的博物馆，向我们展示着恒星诞生的各个阶

段。在星云的一些局部区域，星云物质稠密，运动复杂，天文学家认为其内部正在孕育新的恒星，中心区域的引力坍缩导致了周围云气的剧烈运动。星云中还发现了一些温度只有几百开的红外星，它们可能是正处于引力收缩中的原恒星，内部核反应的能量尚未传递出来。等到这些恒星形成，星风彻底“吹散”了周围的浓雾，就会露出那些新生的面孔。当然，星云中还会有更多“流产”的恒星，它们由于向中心坍缩的物质不够，中央达不到足够的高温，无法开始稳定的核燃烧，最终成为褐矮星。只是它们又小又暗，很难被发现罢了。

其实，在银河系的旋臂上，有许许多多弥漫星云正在成为恒星的发源地。在那里，成千上万颗恒星被批量地生产出来。猎户星云是其中离我们太阳系最近的一个，只有1500光年的距离，这才使我们有幸能一窥这生机盎然的世界。（邵正义）



猎户星云中正在形成大批的恒星

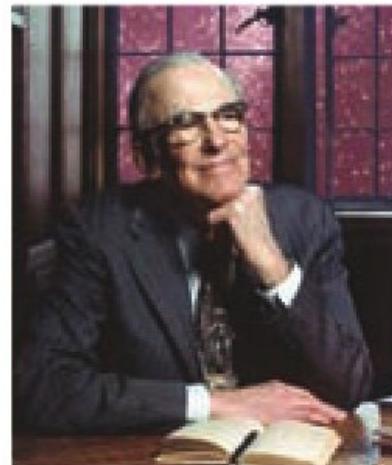
【科学人】斯皮策

莱曼·斯皮策（1914—1997），美国理论物理学家和天文学家，从事等离子体物理和恒星形成的研究，是星际介质研究的奠基人之一。斯皮策深刻地认识到地球大气对天文观测的不利影响，从1946年起就开始酝酿将天文望远镜送入空间轨道进行观测。为了彰显他在星际介质研究方面的开创

性贡献，美国航空航天局将2003年发射升空的红外望远镜命名为斯皮策空间红外望远镜。

【微问题】星际空间有如此丰富的有机分子，你认为地球上最初的生命来自太空吗？

【关键词】星际尘埃 暗星云 反射星云 发射星云 猎户星云



(N)

为什么“银河”和银河系并不是一回事

④



夜空中壮丽的银河

夏天晴朗的夜空，只要没有城市灯光和月光的影响，人们可以看到一条淡淡的银色飘带，横跨天穹，呈现一片混沌的辉光。这条光带就是银河，中国古代还冠之以“天河”、“星汉”等美名，并流传着牛郎织女在天河鹊桥相会的美丽传说。

银河其实并不是天上的河流，而是庞大的银河系在天空上的投影。银

河系中的成员除恒星以外，还包括星际气体、尘埃以及暗物质。银河系中发光物质的总质量大约是太阳的1400亿倍，其中恒星的质量占据了约95%。

从大的方面看，银河系主要由银盘、核球、银晕和暗晕四部分组成。银河系的大多数恒星和星云主要集中在扁平状的银盘内，这是银河系的主体。银盘的直径约10万光年，中间部分较厚，厚约6000多光年，并向四周逐渐变薄，到太阳附近便只剩一半厚度了。巨大的银河系本身也有自转，银盘中的千亿星球环绕银河系中心浩浩荡荡地做旋转运动，从中心向外伸展出4条弯曲的旋臂，看上去犹如急流中的旋涡。所谓旋臂实际上是恒星、星际气体和尘埃的集聚区域，但这集聚着物质的旋臂并不是像静止的风扇叶片那样固定不变，而是有大批恒星不断地在旋臂中进进出出，只是因为它们在运动中基本做到“收支平衡”，所以旋臂的形状看上去保持不变。

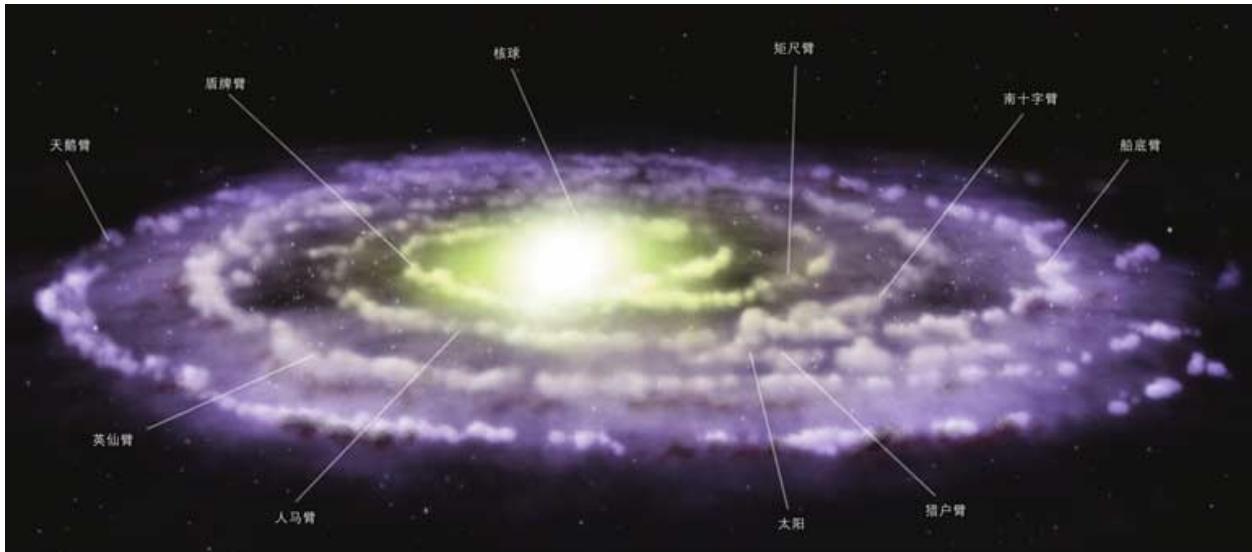
银河系的中央是恒星分布相当致密的核球部分，直径约1.2万~1.5万光年，略呈椭球形状。由于大量星云和气体尘埃的阻挡，对核球方向的天文观测十分困难，人们至今对它知之甚少，但可以肯定核球内的恒星分布十分密集。



④

斯皮策红外空间望远镜拍摄的红外影像显示出银河系中有大量尘埃

银晕是在银盘外围由稀疏的恒星和星际介质组成的一个巨大包层，它的体积至少超过银盘的50倍，但质量却只占银河系的 $1/10$ ，由此可见其物质非常稀薄。事实上，除了那些极其稀薄的星际气体外，银晕中的可见物质主要是球状星团。银晕之外还存在着一个更大范围的球对称的物质分布区，称为暗晕，主要成分是暗物质，直径可能10倍于银晕。尽管密度极低，然而由于“疆域”极为辽阔，暗晕的总质量估计可达银河系其余各部分总和的10倍。（陈力）



④

银河系的核球和旋臂

【微博士】银河系中的暗物质

20世纪20年代，天文学家发现银河系的自转速度——即恒星绕银河系中心转动的速度——随银心距的不同而变化，其变化规律的图示形式称为银河系自转曲线。如果只考虑发光物质，实测情况和理论预言便大相径庭；一旦假设银河系广大外围区域内存在大量不发光的暗物质，这种差异就消失了。根据实测银河系自转曲线的形状，可估算出暗物质的质量要比可见物质多出将近一个数量级。目前估计银河系普通物质和暗物质的总质量约有 2×10^{12} 太阳质量。

为什么说太阳不在银河系的中心

在天文学的发展史上，伽利略是第一个用望远镜发现银河由大量恒星组成的人。嗣后的相当长时间里，人们把太阳当作了银河系的中心。

1785年，威廉·赫歇尔通过观测，使用恒星计数的方法绘制出一幅扁而平、太阳位居中心的银河系结构图。当时并没有测定大量遥远恒星距离的有效方法。威廉·赫歇尔只能以类似“所有的灯都一样亮”的思想，假设所有恒星具有相同的亮度，由观测到的各恒星的亮暗来推断它们的远近，这样的假设当然是很粗糙的。另外，他不了解太空中存在星际物质。事实上，

银盘含有气体和尘埃，它们会不同程度地吸收掉恒星发出的光。威廉·赫歇尔好比一个雾中人，他并没有见到银河系的全貌，只看见了以自身为中心的一小部分区域，从而错误地以为太阳处在银河系的中心。

1918年，美国天文学家沙普利研究了当时已知的大约100个球状星团，发现90%以上的球状星团坐落在以人马座为中心的半个天球上，其中1/3集中分布于人马座方向。设想球状星团在银河系内是对称分布的，如果太阳位于银河系中心，那么从地球上来看球状星团在天空中就应该呈球对称分布，这与观测结果是矛盾的。沙普利由此推想，如果太阳并不在银河系中心，那么在地球的天空中球状星团就不是球对称分布了。经过多年的观测和研究，沙普利最终建立了透镜状的银河系结构模型，正确地得出太阳不在银河系中心的结论。银河系的中心是在人马座方向，太阳则位于银河系的边缘。

哥白尼的日心说推翻了地球位于宇宙中心的特殊地位，沙普利的工作又说明太阳同样并不具有特殊的地位，太阳只是银河系千亿星辰中的普通一员。（陈力）

【科学人】赫歇尔

威廉·赫歇尔（1738—1822）早年是一位乐师兼业余天文学家。1781年3月他用自制的望远镜发现了天王星，引起天文学界轰动。他本人因此受英王任命为皇家天文学家。他长期从事双星、星团和星云的观测和研究，用统计恒星数目的方法证实了银河系为扁平状圆盘的假说。他是恒星天文学这一天文学分支学科的开创者。1821年任英国皇家天文学会首任会长。

【微问题】太阳邻域有多少恒星？

【关键词】银河 银河系

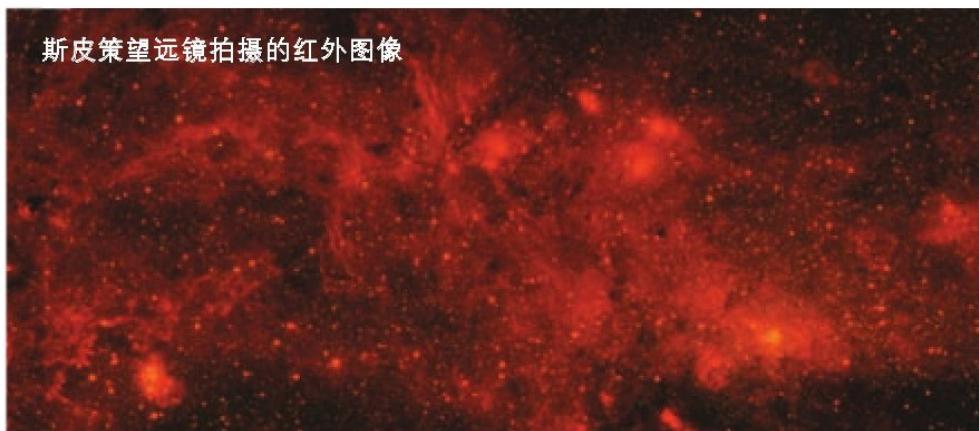


(7)

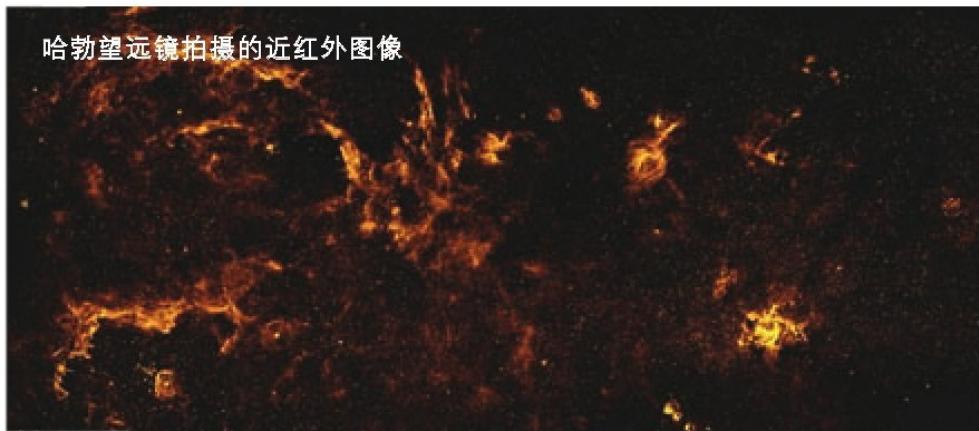
为什么人们难识银心真面目

如果你熟悉夏夜的星空，会发现在人马座方向的那段“银河”格外宽阔、明亮。那里就是银河系的核球，我们银河系的“心脏”就深埋在这片银白色的辉光里面。天文学家一直都很好奇：银河系的中心，会是一个怎样的神秘所在？

斯皮策望远镜拍摄的红外图像



哈勃望远镜拍摄的近红外图像



钱德拉望远镜拍摄的 X 射线图像



不同波段拍摄的银河系中心区域图像

其实，“银河”的辉光都来自银河系中遥远的恒星，虽然人眼所见的是重叠在一起的模糊一团，但利用大型光学望远镜是可以将它们在图像上分离开来的。那么是不是只要我们有足够大的望远镜，就可以看透“银河”呢？不幸的是，广袤的星际空间里，除了恒星之外，还有气体和尘埃散

布其中。尤其是尘埃，它们会遮蔽途经的星光。星际尘埃极其稀薄，即便是形成尘埃云块的地方，每立方米也只有几个到几百个颗粒。这样的密度比地球上最好的实验条件下得到的真空还要稀薄。但是，从太阳系到银河系的中心大约有2.6万光年，在这么遥远的路途上，尘埃颗粒的遮光效应不断累积，结果就相当可观了。我们可以看到，沿着“银河”，形成了一条边缘模糊却贯穿始终的暗带，这就是尘埃吸收带。尘埃带在银心的方向尤为浓重，估计在尘埃吸收最强烈的 direction，星光甚至可能被减弱几十个星等。可见，要探测银心，简直是“迷雾重重”！



银河系中心的多波段合成图像

于是，天文学家将目光转向波长更长的近红外波段。因为波长越长，尘埃的遮光效应就越弱，或者说光线的穿透能力就越强。在能见度不好的

天气里，红色的交通灯更容易在远处被看见，就是这个道理。不过，红外天文观测也存在许多困难。首先是我们地球上的大气（尤其是其中的水汽）对红外线有很强的吸收。仅仅是在几个特定的波长范围内（天文学中称为红外观测“窗口”），红外线才有一定的穿透能力，而在其他范围则会全部被吸收。因此，许多用于红外观测的望远镜不得不送到远离地球大气的空间轨道上。这对望远镜的大小和许多观测技术的应用都会有很大的限制。其次，在红外波段有更多的来自环境的干扰。比如，常温下的物体自身都会发出红外辐射，望远镜本身就是一个红外辐射源，这一定会干扰其对天文目标的观测。因此，需要用非常有效的制冷技术把望远镜本身的温度降下来。目前工作的空间红外天文望远镜，都要背一个比自身大得多的装满了液氦制冷剂的“包袱”，就是这个原因。另外，就探测器的技术而言，红外设备无论在探测的灵敏度和分辨本领上都还远远不及可见光的探测水平。

如此看来，想要揭开银心的神秘面纱，还当真不容易。（邵正义）

为什么说银河系中心有个大黑洞

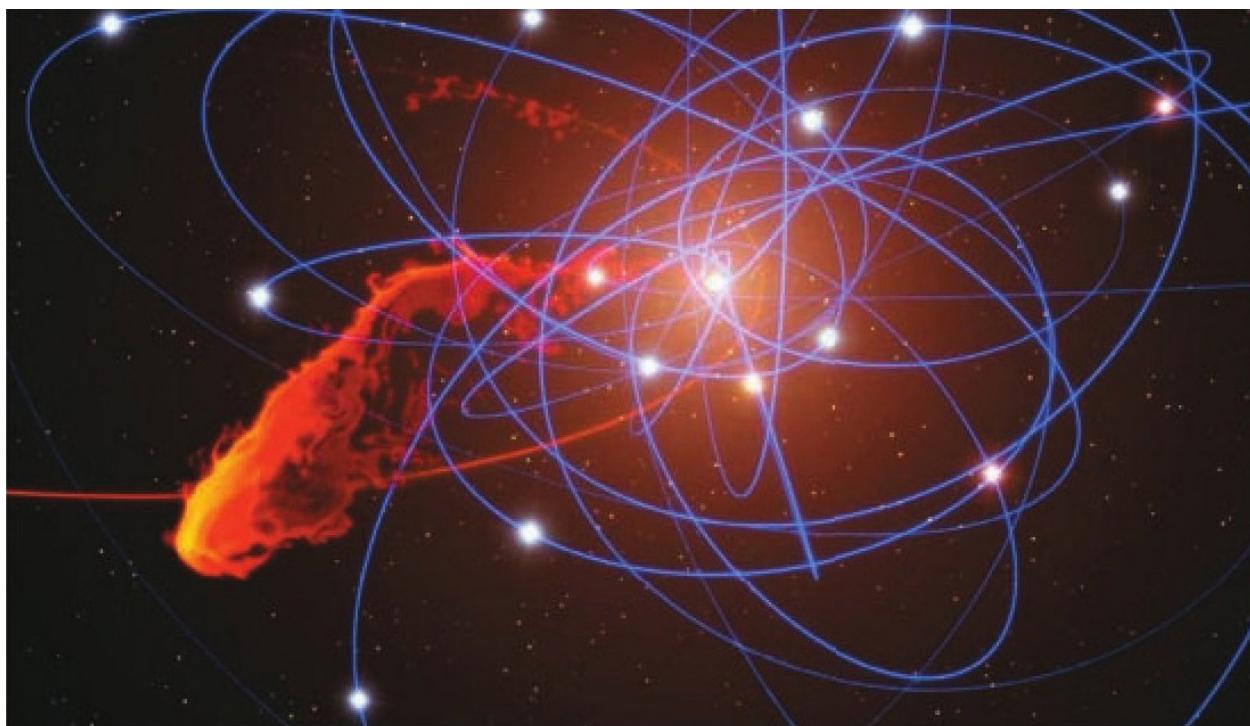
通过红外波段的探测，天文学家已经获悉，银河系的中心区域，有着很复杂的结构和物质组成：这里布满了各种形态的分子、原子气体和尘埃。许多气体和尘埃集聚成巨大的分子云，云的深处有正在形成的恒星。还有一些明显是超新星的遗迹。那么，银河系的最中心处究竟是什么呢？是星团、超大质量恒星，还是别的什么？

其实，我们一直很期待，在这样一个特殊的地方，会发现一个特殊的天体。

许多年前，天文学家就在银心方向发现了一个很强的射电源，命名为“人马座A*”。随后又探测到了它的X射线辐射。可奇怪的是，除此之

外，再也“看”不到那里的天体发出一星半点的可见光。

要想知道一个天体究竟是什么，最起码需要知道它的两个属性：质量和大小。那么，这个神秘的家伙究竟是什么呢？如何才能知道它有多少质量呢？证据来自它周围的恒星。从20世纪90年代初开始，天文学家就执行一个探测计划，用地面上最大的光学望远镜——位于夏威夷的凯克望远镜，在近红外波段对银心方向的十几颗比较亮的恒星进行长期的监测，描绘出它们的运动轨迹。尤其是其中一颗编号为S0-2的恒星，经过15年的观测，几乎得到了它的一个完整的运动轨道。通过对这些完整或者尚不完整的轨道进行分析，人们发现这些恒星都被来自人马座A*的一个天体产生的强有力的引力牢牢地“拽住”了。要产生如此强劲的引力，大约需要集中400万个太阳的质量。那么这么多的质量是集中在多大的范围内呢？通过分析这些恒星的轨道形状可以判断，这个物质分布区域的半径小于10光日。



(N)

一团气体被银河系中心黑洞吸引的想象图，周围恒星轨道可用于推测银心质量

此后不久，天文学家还利用干涉技术，把相距几千千米的射电望远镜组成网络，相当于构造一架超级巨型的射电望远镜，这就大大提高了分辨

本领。利用这种技术，在银河系背景的衬托下，对银心引力源的“阴影”进行“拍照”，可以更精确地探测中心质量的分布范围。用这个方法，人们已经知道银心中巨大的引力质量，都集中在半径小于500光秒的范围内，相当于地球到太阳的距离。

对于地球和人类来说，日地之间是一个很大的空间，但是想要容纳400万个太阳的质量，却实在是太小太小了。因为这些物质之间一定存在引力作用，要它们集中在如此小的范围之内，形成一个稳定的结构，而又没有任何可见光辐射出来，唯一的可能就是黑洞！（邵正义）

【微博士】银心距离的测定

银心，广义上来说，是整个银河系物质分布的几何对称中心，而狭义的定义就是“人马座A*”所处的位置。银心距离的测量主要有间接和直接两种方式。所谓间接测量，是找一类在银河系中分布对称性较好的天体，比如说球状星团。如果测出了所有球状星团的位置（方向和距离），就可以算出它们的对称中心所在的地方，也就是银河系的对称中心。直接测量就是找非常接近“人马座A*”的恒星或者星团，利用它们的运动特性来计算距离。比如通过测量恒星S0-2的视向速度变化，再结合轨道的周期和形状，也可以推算出银心同我们的距离。到目前为止，综合各种测量的结果，可知太阳系距离银心约2.6万光年。

【微问题】银心的黑洞可能产生什么样的辐射？

【关键词】银心 人马座A* 黑洞

星系和星系团

天文学家怎样证实河外星系的存在

成语“天外有天”，常用以描述人的认识或能力总是有限的，而认识事物的过程却是无限的。在天文学上，“天”可以理解为“宇宙”，天文学即研究宇宙和天体的自然科学学科。人类对宇宙的认识过程已有数千年的历史，其间有三个最重要的里程碑式事件：1543年波兰天文学家哥白尼提出日心说，1785年英国天文学家威廉·赫歇尔建立第一个银河系模型，以及1923年美国天文学家哈勃证实河外星系的存在。

在哥白尼时代，人们心目中的宇宙只限于太阳系，范围仅为几十天文单位，对太阳系外的恒星世界则不甚了解。赫歇尔把视野拓展到太阳系外，确认了由众多恒星构成的银河系的存在，尺度约10万光年。那么，银河系之外的宇宙又如何呢？

在赫歇尔尝试确定银河系结构之前，17世纪中叶，已有人注意到夜空中除了点状的恒星外，还可看到一些外形颇不规则的云雾状暗天体，并取名为星云。自然哲学家开始自问：“银河是否已构成了整个宇宙？”在当时显然没人能给以正确的回答。



银河系及其近邻星系

对事物的认识总会有一个过程。1750年英国人赖特猜想，有些星云可能是银河系般的庞大恒星系统。1755年德国哲学家康德更明确提出，银河系外存在无数个与银河系类似的恒星系统（后人称之为河外星系或星系），并明确指出，早先发现的仙女星云就是这样的河外星系。赖特和康德的观念也许可称之为天才的猜想，但并无科学证据。那时，天文学家对星云的本质缺乏了解，更不知道它们在银河系之内，还是位于银河系之外。



④

大麦哲伦云



④

三角星系M33

赫歇尔试图通过实测来寻找答案。这位科学大师认为，如果经望远镜的放大后，星云能分解成一颗颗恒星，那么所观测的星云就是星系，否则，星云便是银河系内的云团。然而，观测结果表明，一些星云确实能被分解为恒星，但也有不少星云在望远镜视场内仍是模糊一团，这使赫歇尔深感迷惑不解。赫歇尔这样的大科学家，拥有当时世界上最大的望远镜，尚无法判断，同时代的其他人，就更无所适从了。

实际上，赫歇尔的思路并非完全正确，因为那时的所谓“星云”包含了三类性质迥异的天体：银河系内的气体尘埃星云、银河系内的星团，以及河外星系。赫歇尔的望远镜能分辨为恒星的“星云”，只是星团。而银河系内的气体尘埃星云，或者是河外星系，都是当时的望远镜无法分辨的。

此后的100多年内，关于“星云”的本质仍无明确的定论。1920年4月，美国科学院为此举办了一次“宇宙的尺度”专题辩论会。会上，持对立观点的两位著名天文学家柯蒂斯和沙普利各抒己见，相持不下，最终也未能得出明确的结论性意见。问题的关键在于如何测定“星云”的距离：若观测的“星云”同我们的距离远大于银河系的尺度，且又可分解为恒星，河外星系的存在便可得以肯定，否则“星云”便是银河系内的天体。

天文学是一门观测科学，天文学的发展史也就是它的主要观测设备——望远镜的发展史。望远镜口径越大，越能看到更暗的天体，分辨率也越高。为此，人们不断追求建造更大的望远镜。随着大口径望远镜的面世，最终证实河外星系存在的时机历史性地落在了哈勃的身上。

1917年，美国建成当时世界上最大的2.54米口径反射望远镜。1923年10月5日，哈勃用这架望远镜观测了仙女星云。在高分辨率照片上，仙女星云的外缘被分解成一颗颗恒星。哈勃在其中辨认出了一些造父变星。这些造父变星离我们的距离是可以测定的。哈勃据此推知仙女星云的距离约为100万光年（现代结果为240万光年）。尽管当时对银河系尺度还未取得一致的认识，但据各种估算它的大小不会超过30万光年。因此，仙女星云远在银河系之外，无疑是一个河外星系，故应更名为“仙女星系”。这一年，

哈勃才34岁。

哈勃的成就并非一朝一夕之功，他早年就对“星云”表现出极大兴趣，做了许多细致的工作。他大胆地把“星云”分为“银河星云”和“非银河星云”两类，但对自己观点的表述颇为谨慎，还提醒别人不要轻易把“非银河星云”理解为它们就处于银河系之外。直到测出仙女星系的距离后，哈勃才确认了河外星系的存在。

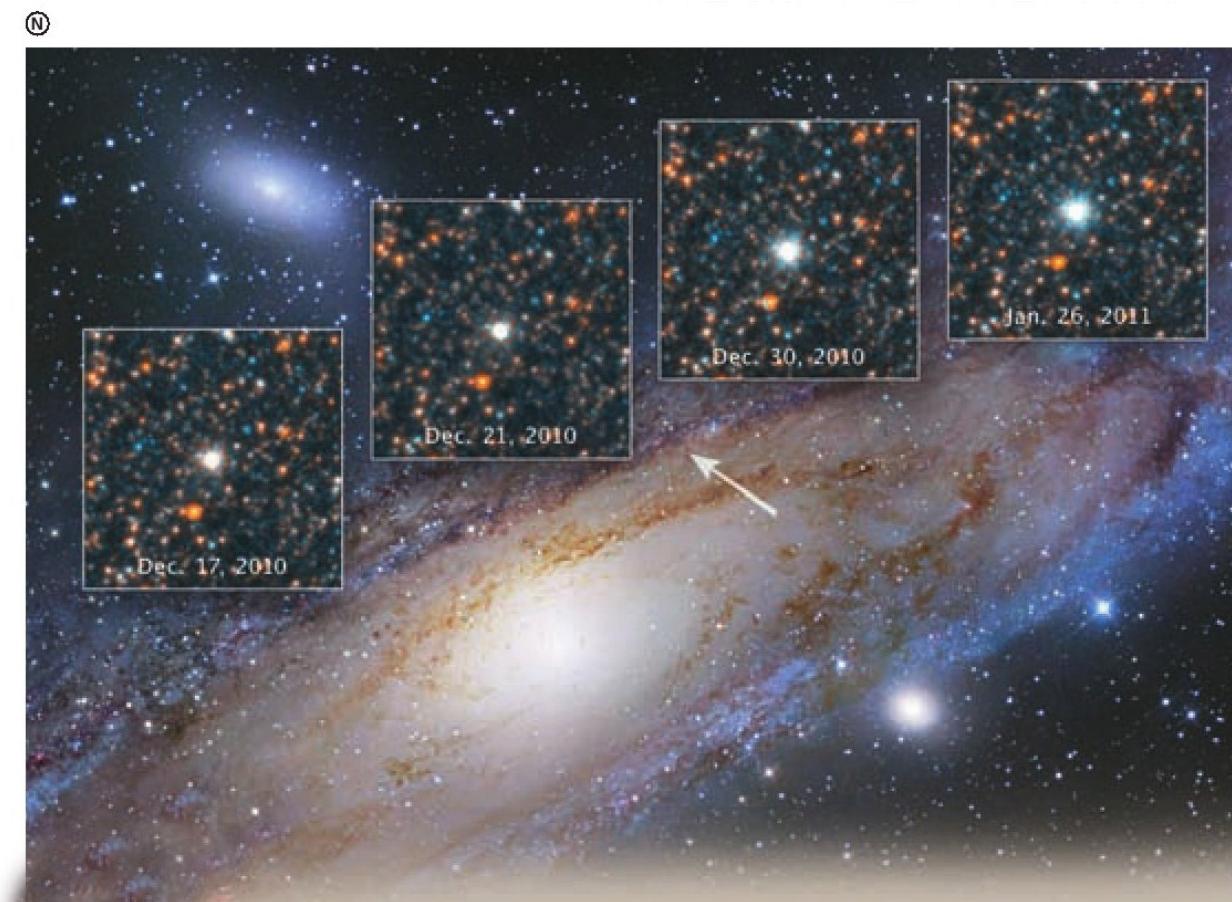
(N)



哈勃正在望远镜前进行天文观测

今天，人们已确知宇宙中存在着上千亿个星系，它们是宇宙物质结构

形态的基本单元。对星系的研究已成为天文学的一个重要分支——星系天文学。（赵君亮）



仙女星系M31中一颗造父变星的亮度变化

【微博士】仙女星系

梅西叶星云星团表编号为M31，NGC表编号为NGC224，因位于仙女座而得名。它是离银河系最近的巨旋涡星系，距离约为240万光年，肉眼勉强可见。“个子”比银河系还大，主体直径约为13.3万光年，质量超过银河系的2倍。

【科学人】康德

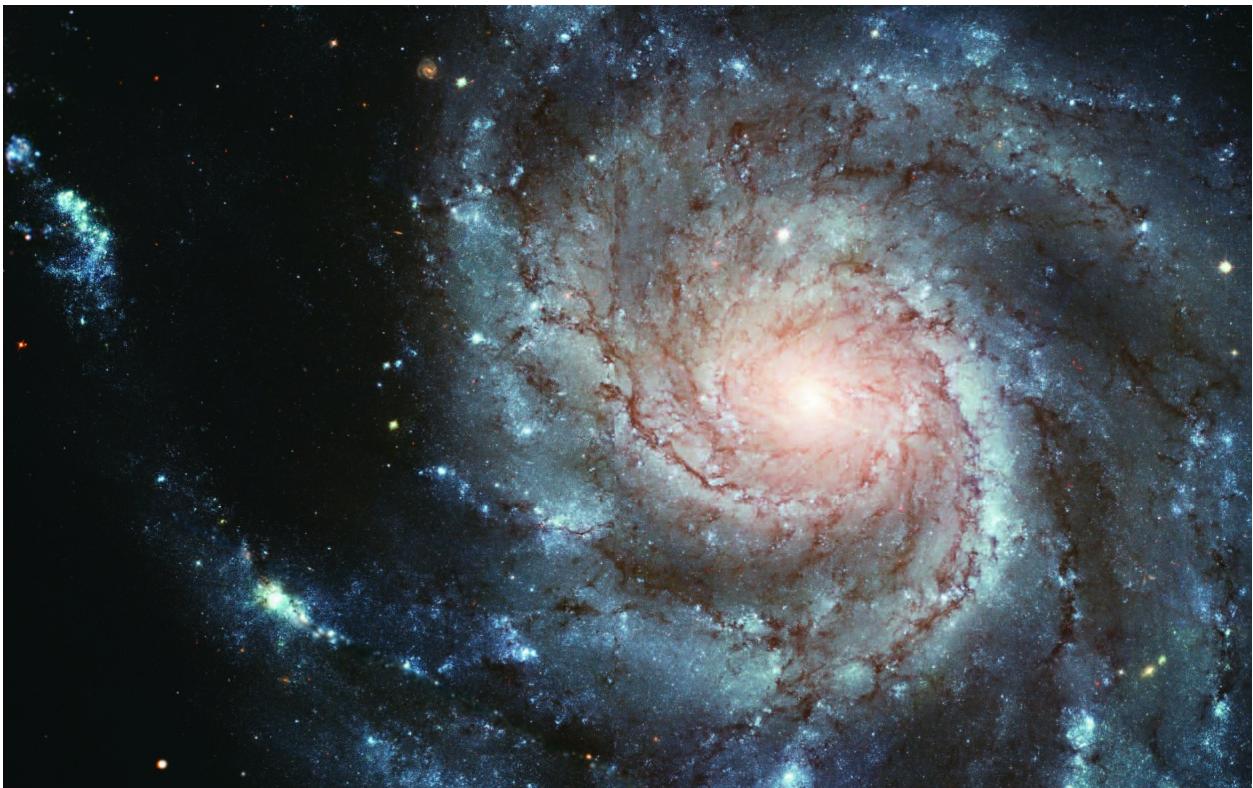
伊曼纽尔·康德（1724—1804），德国古典哲学的创始人，在自然科学领域亦颇有建树，他在天文学上最出名的是于1755年率先提出太阳系起源的星云说。

【微问题】哈勃为什么被称为“星云世界的水手”？

【关键词】河外星系 星系天文学



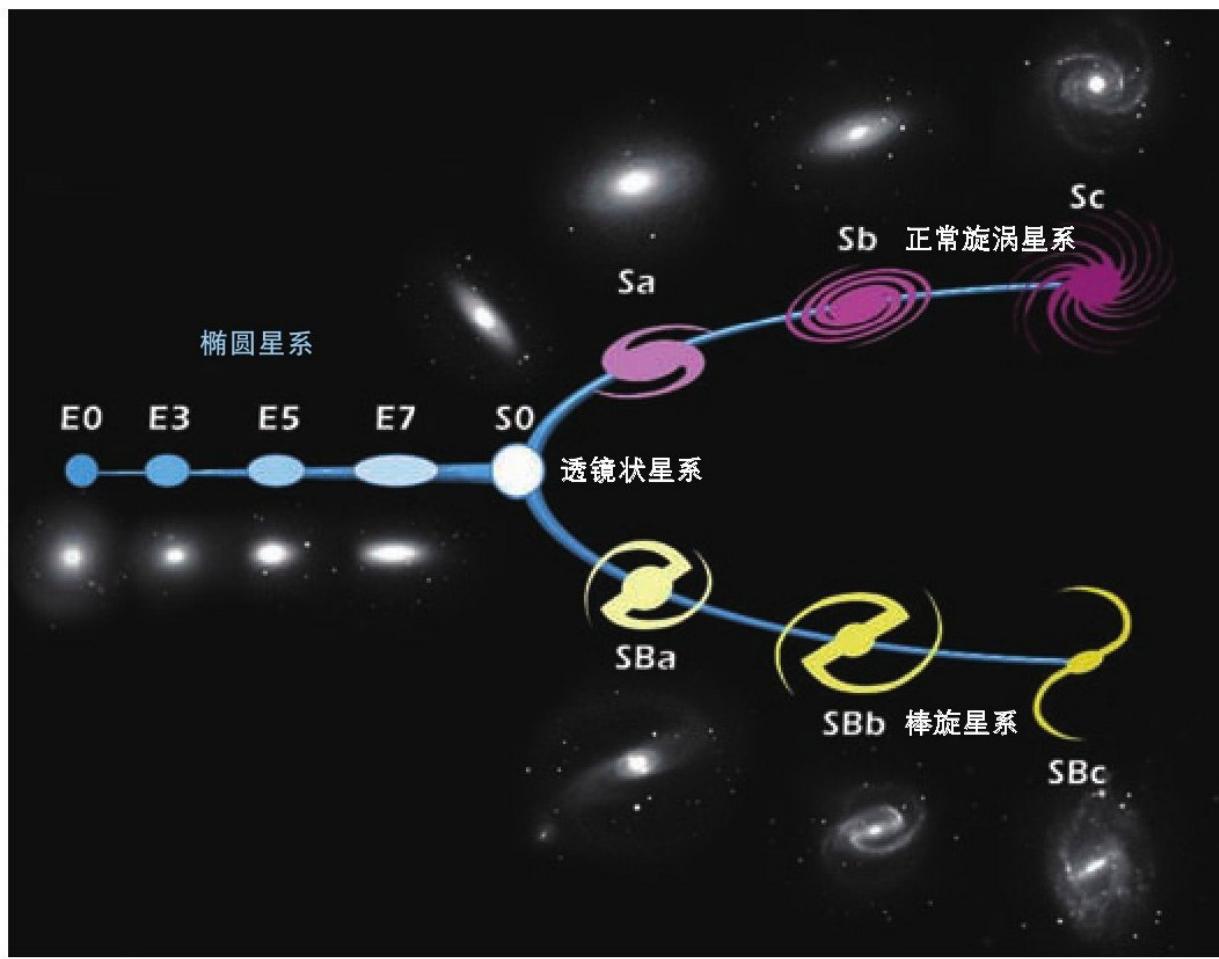
W



旋涡星系M101位于大熊座，距离地球约2100万光年。它的直径约17万光年，几乎是银河系的2倍，因其形状很像风车，故又称“风车星系”

星系大家族里有些什么成员

美国天文学家哈勃在他1936年出版的《星云世界》一书中，绘制了一幅今天被称为“哈勃序列”或“哈勃音叉”的星系分类图。



哈勃星系分类“音叉”图

哈勃首先把星系分成椭圆星系和旋涡星系。椭圆星系，顾名思义，呈现椭圆的形态，其成员恒星通常都为老年恒星，气体和尘埃成分很少，因此也不再形成新的恒星。椭圆星系的质量差别很大，最小的矮椭圆星系只有几百万太阳质量，而巨椭圆星系的质量则超过1万亿太阳质量，它们一般位于星系团的中心。像M87那样的巨椭圆星系则是宇宙中最大的星系之一。在所有的星系中，椭圆星系占10%~15%，大多分布在规则的富星系

团中心附近。在“哈勃音叉”图中，各类椭圆星系构成了“音叉”的“柄”。

“哈勃音叉”的“叉”是由旋涡星系构成的。旋涡星系最显著的特征就是旋涡结构——有几条从星系中央明亮的核球伸展出来的旋臂。旋臂富含气体和尘埃，仍在进行恒星形成的活动，在旋臂上的恒星大多比较年轻。由于旋涡星系通常呈扁平的盘状，盘的厚度只有直径的 $1/15$ 左右，因此又称为盘星系。旋涡星系的质量介于 10 亿~ 1 万亿倍太阳质量之间，可见光波段的星系盘直径从 15000 光年至 30 万光年不等。已观测到的星系中超过一半是旋涡星系。



透镜状星系NGC5010

接下来，哈勃又把旋涡星系分为“正常旋涡星系”和中央带有棒状结构的“棒旋星系”，作为“音叉”的两个“叉”。正常旋涡星系的旋臂直接从核球伸展出来，棒旋星系的旋臂则从核中棒的两端伸展出来。我们的银河系就是一个典型的棒旋星系。在“叉”与“柄”的结合部，是形如透镜的“透镜状星系”。

早期人们误以为“哈勃序列”表征了星系的演化顺序，星系的演化是

从“柄”端的椭圆星系向“叉”端的正常旋涡星系或棒旋星系演化的。因此称椭圆星系为“早型星系”，而称旋涡星系为“晚型星系”。现在天文学家知道实际情况并非如此。但“早型”和“晚型”的名称还是沿用下来。此外，不规则星系没有体现在“哈勃音叉”图中。



旋涡星系M101

⑩



星系对Arp116包括一个椭圆星系和一个旋涡星系

哈勃的“音叉”分类法简便可靠，是人类进行星系研究的基础。至今天文学家仍在使用哈勃的这种星系分类，可以毫不夸张地说，“哈勃音叉”图是对星系天文学影响最为深远的分类方法。

1959年，法国天文学家伏古勒扩展了哈勃星系分类的音叉图，他认为哈勃只根据旋臂缠绕松紧度和是否有棒状结构两个特征来划分旋涡星系的方法太简单了，不足以精确地描述全部观测到的星系形态，因此对哈勃的分类系统进行了细化。伏古勒星系形态分类大体沿袭哈勃分类系统，将星系分为椭圆星系、透镜状星系、旋涡星系和不规则星系。对于旋涡星系，伏古勒又以旋臂、环状结构和棒状结构三个特征将其划分为若干子类型。伏古勒系统可以理解为哈勃音叉图的三维拓展，它的x轴描述旋涡星系的旋臂，y轴描述旋涡星系的棒状结构，z轴描述星系的环状结构。

除了旋涡星系和椭圆星系，还有一些星系的形态不规则，缺乏对称

性，而被统称为不规则星系，包括特殊星系、相互作用星系等。这些星系通常质量不大，只有一亿到百亿个太阳质量。直到20世纪50年代中期，天文学家都一直忽视这些古怪星系的存在，但自那以后，人们认识到它们是理解星系演化的关键。（陈冬妮）

为什么把银河系归类为“棒旋星系”

根据旋涡星系无棒还是有棒的特征，哈勃将旋涡星系分为SB和S两大类，SB代表星系中心存在一个棒状的结构，S则表示星系中心没有棒。在每一大类中，哈勃又根据核球大小和旋臂的伸展程度将其分成a、b、c三个子类。

根据哈勃的标准，科学家们最初把银河系分类为Sbc型旋涡星系，即认为它是无棒的S星系，形态介于b和c子类之间，中间有一个巨大的核，从核伸展出四条大旋臂。但2005年，斯皮策空间红外望远镜的巡天结果发现银河系的中心有一个显著的棒状结构，从棒舒展出两条主旋臂。因此根据哈勃标准，银河系应该分类为SBbc型棒旋星系。



④

棒旋星系NGC1300

伏古勒借鉴了哈勃的分类标准，把没有棒状结构的记为SA，有棒状结构的为SB，介于两者之间的为SAB；有环状结构的以字母r表示，没有的以字母s表示，中间类型用rs表示。旋臂方面，伏古勒系统除了保留哈勃系统中abc的子类型外，又增加了三种子类型：Sd型旋涡星系的旋臂弥漫断续，由几个独立的星团和星云构成，中心核球非常不显著；Sm型旋涡星系的旋臂形状不规则，没有中心核球结构；Im型旋涡星系是极端不规则的星系。这三种子类型的星系在哈勃分类中大多归为不规则星系。

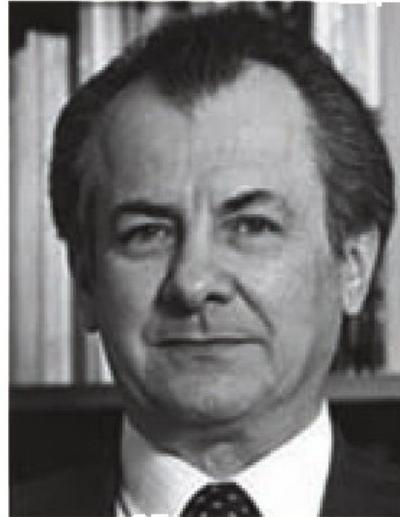
伏古勒的星系子类型标记可以联合起来精确地描述星系的外貌。例如一个星系被分类为SAB (r) c型，就表示它是有不明显棒状结构，旋臂缠绕松散且有环状结构的旋涡星系。根据这种分类标准，伏古勒认为银河系可被分类为SAB (rs) bc型星系，表示它具有棒状结构，但不是非常明显，核球外存在一个弱的气体和恒星组成的环状结构，旋臂较为舒展。
(陈冬妮)

【科学人】伏古勒

杰拉尔·德·伏古勒（1918—1995），法国天文学家，自幼就是天文爱好者，曾先后在英国、澳大利亚斯特罗姆洛山天文台、美国洛厄尔天文台以及哈佛大学学习工作。1960年转到得克萨斯大学奥斯丁分校，并在那里度过余生。伏古勒是星系研究的好手，与人合作出版了《第三版亮星系表》。他重新分析了哈勃和桑德奇的星系表，采用星系的多个特征如光度、环的直径、最亮星团的平均值，重新估计星系的距离，伏古勒把这种方法称为“大冒险”。20世纪50年代伏古勒积极宣扬星系团聚集为超星系团的理念。1988年，伏古勒被美国天文学会授予亨利·诺里斯·罗素讲席职位，同年获法国天文学会授予的朱尔斯·詹森奖。

【微问题】是否可以利用计算机自动对星系进行分类？

【关键词】正常漩涡星系 棒旋星系 椭圆星系 不规则星系



◎

为什么有些星系被称为特殊星系

在自然科学研究中，分类是一项重要的基础性工作。对观察对象进行合理分类，可从中探究不同类别对象各方面性质的异同之处，以及相互间可能存在的内在联系。通过分类还可以发现那些难以归入基本类别的对象，而它们往往有着特别重要的意义。

天文学的研究对象有行星、恒星、星云、星团、星系等各种天体，同样需对它们进行分类，并逐级细化。在星系领域，美国天文学家哈勃率先按外观形态把星系分为椭圆星系、透镜状星系、旋涡星系和不规则星系四大类。

随着观测技术的进步，特别是空间天文技术的日趋成熟，观测分辨率大大提高，并实现了在可见光之外其他波段上的天文观测，包括射电、红外、紫外、X射线以及 γ 射线观测。借助这些观测手段，人们发现相当一部分星系根本无法归入星系的哈勃形态分类基本序列，于是被冠名为非正常星系，亦称特殊星系，以别于能归入基本形态类别的一般“正常星系”。可见，这里的“非正常”或“特殊”，乃相对于“正常”或“一般”而言。



蚱蜢星系是两个正在并合中的星系



(N)

IC883是两个星系并合后留下的遗迹

那么，特殊星系的“特殊”表现在什么地方呢？这里有两个主要标志。

其一，特殊星系常表现出十分奇特的光学外形。正常星系的外形都较为规则，即使其中的“不规则星系”也只是相对其他三类星系而言看上去外形较为不规则。特殊星系与之不同，它们的外形需用“奇特”两字来描述，它们会表现出正常星系所没有的稀奇古怪的结构，外形五花八门，毫无规律可循。如有的特殊星系附有长条形的尾巴或喷流，有的呈环状，有的结构高度扭曲，有的看上去居然像个人！

其二，辐射特性与正常星系显然不同。对于一个正常星系，通常是在可见光波段的辐射比较强，其他波段的辐射很弱，甚至观测不到。相反，特殊星系在可见光波段的辐射并不很强，但在射电或其他波段（如红外、X射线等）上的辐射却异常强，可以远强于可见光辐射。

对于特殊星系来说，上述两种特征往往同时存在——有奇特外形，同时又表现出与正常星系不同的辐射强度分布。（赵君亮）

为什么说有些星系特别活跃

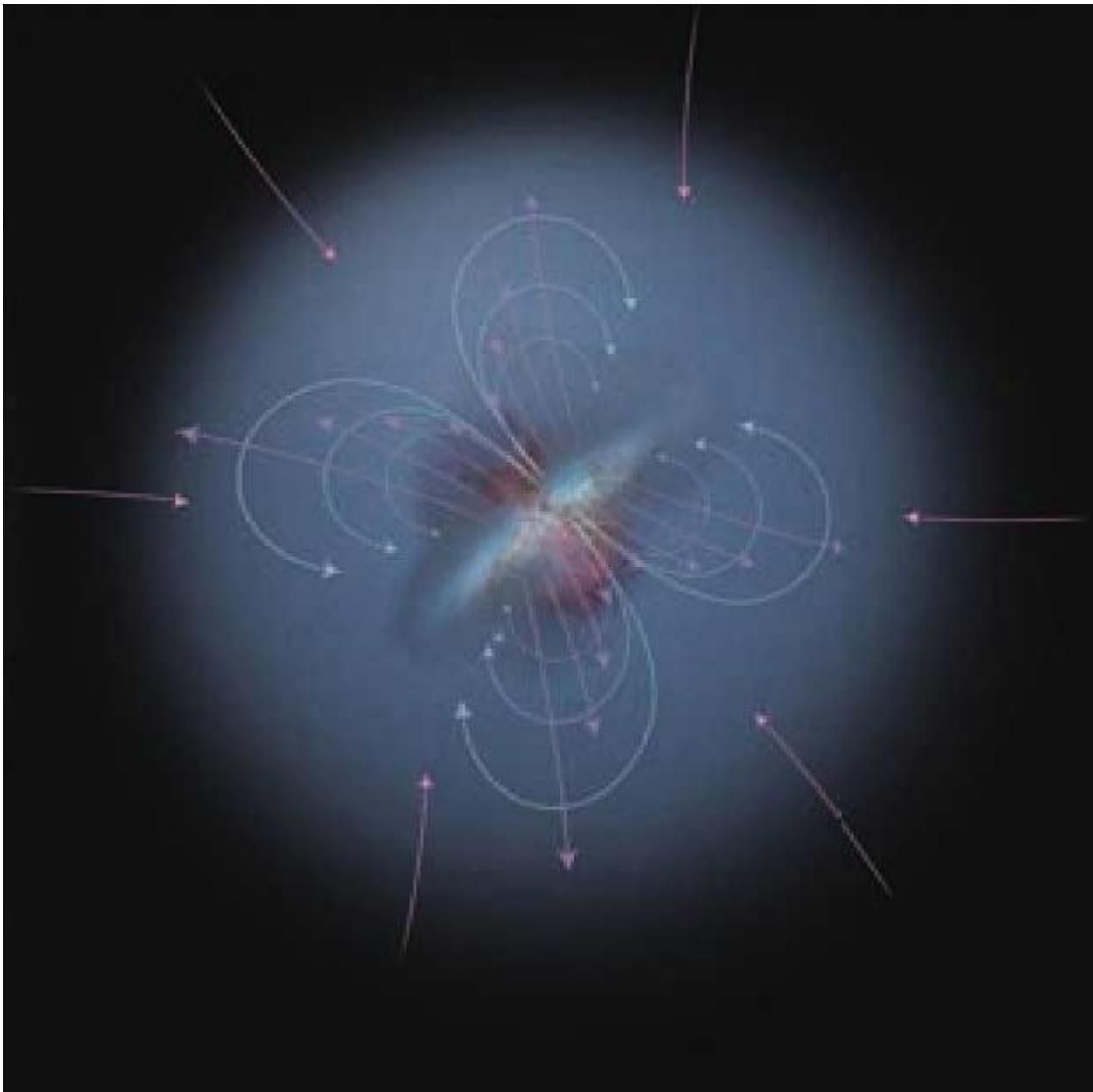
我们的银河系是一个相对安静的星系，当太阳落下后，我们就会迎来静谧的黑夜。但在另一些星系里的居民却很有可能看不到黑夜。即使它们所绕转的恒星从地平线上落下，夜空依然会被来自遥远恒星或星系中心的光芒所照亮。它们所在的星系，就是“星暴星系”，或是“活动星系”。

“星暴星系”是指恒星形成活动很剧烈的星系。星暴星系往往呈现蓝色，这是因为星系中有许多大质量的蓝色亮星。这些蓝色亮星是在最近不很长的时间段（如10亿年）内形成的。10亿年对于人类很长，但相对于星系的演化则是很短的时间，在这样短的时间内恒星大批形成的现象称为星暴，仿佛此类星系成了恒星“暴发户”。如果地球处于这些星系中，我们就会经常在夜里看到和满月差不多亮的超新星，大质量蓝星喷出的粒子流也会使大气层中出现极光现象，使得黑夜亮如白昼。



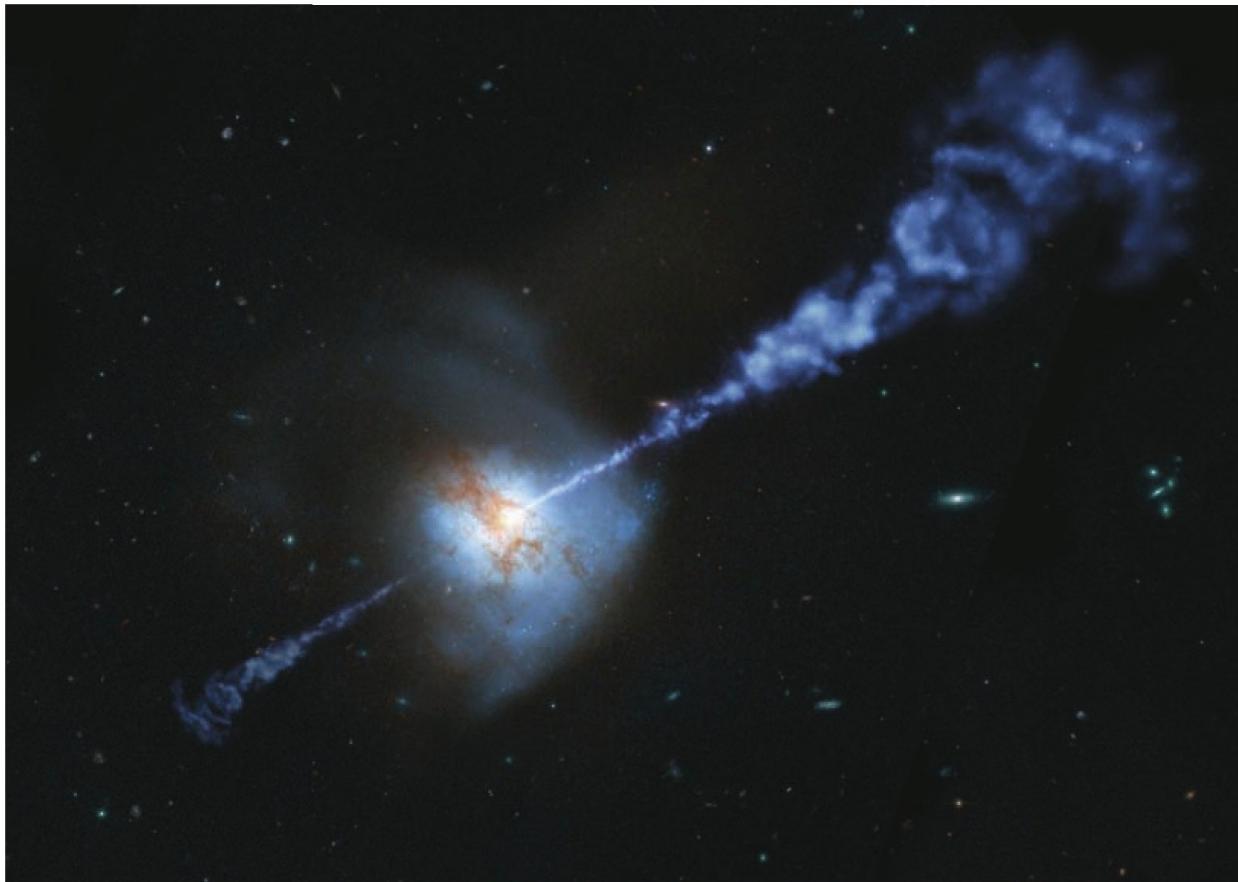
(N)

恒星形成过程剧烈的星系会猛烈地把气体吹出星系晕之外，失去了“原料”后，剧烈的恒星形成就会停止



像银河系这样的星系中，恒星缓慢生成，不足以将气体吹出，所以气体能不断落回来，恒星能不断形成

®



活动星系的艺术想象图，辐射是从星系核区一个很小的区域发出的

“活动星系”则是另一种呈现蓝色的星系。但它的颜色不是来自星系中的恒星，而是来自星系中心。活动星系的中心区有一个特别亮的点状辐射源，称为活动星系核。活动星系核的基本特征是非常明亮，核区光度甚至超过整个星系；很多活动星系有快速而又剧烈的光变，光变周期小于1年。这说明活动星系核发射区的尺度非常小，只在光年的尺度。还不到母星系直径的万分之一。如果把母星系比作一个操场的话，核区的尺寸还不及乒乓球大小！

活动星系的发现史最早可追溯到1943年，它们又可进而分为若干类，不过由于历史的原因，分类显得有些混乱。早期有的按发现人的姓名分类，如美国天文学家赛弗特发现的一类活动星系被称为赛弗特星系，苏联天文学家马卡良发现的称为马卡良星系；有的根据其最早发现的天体名来

分类，比如蝎虎天体，就因为首先发现的这类天体是蝎虎座中一个光变剧烈的天体，因此而得名。后来发现上述这些天体很多是同一类星系。因此更合理的是依据主要观测特征来分类，如有强射电辐射的可称为射电星系，能发出强红外辐射的可称红外星系，有强X射线辐射的可称为X射线星系，观测表象如恒星状的称为类星体，光变剧烈的称为耀变体等。一个活动星系有时可归入一种以上的类别，如射电类星体3C273的X射线辐射流量高达 1.5×10^{39} 焦/秒，比它在所有其他波段的辐射总量还要大，所以它同时也被分类为X射线类星体。（赵君亮）

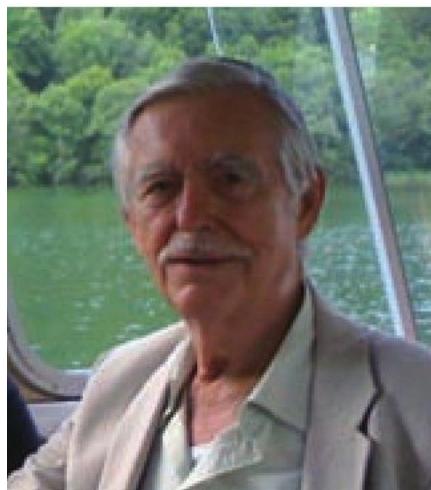
【微博士】亮红外星系

一种在可见光波段并不明亮，而在红外波段却显得非常亮的星系。远红外波段辐射大于等于1000亿个太阳光度的星系称为亮红外星系，其中超过1万亿个太阳光度的称为极亮红外星系，大部分此类星系的红外光度可占星系总光度的90%以上。红外星系很可能是一些刚诞生不久的年轻星系，因含有大量星际尘埃，恒星可见光辐射被强烈吸收，星系在可见光波段就显得不那么明亮了。

【科学人】阿尔普

哈尔顿·阿尔普（1927—），美国天文学家，生于纽约。1966年发表了著名的特殊星系表，给出338个近距特殊星系的照相图像。阿尔普对大爆炸宇宙论提出质疑，认为类星体的红移并非源自宇宙膨胀。

【微问题】射电星系能否同时又发出很强的X射线？



(N)

亮红外星系M82

【关键词】特殊星系 活动星系核 类星体

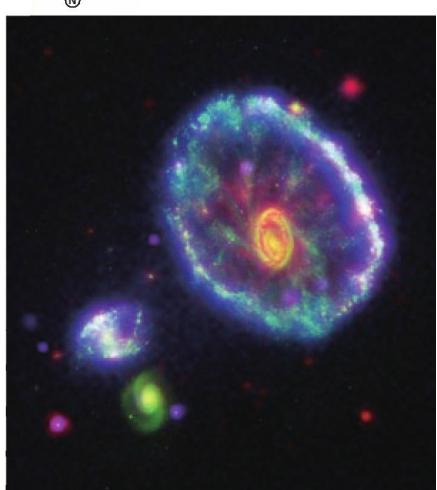
W

为什么星系会发生碰撞和并合

星系的尺度可达10万光年或更大，运动中的星系在几亿年时间内就可以移动本身直径那么大的距离，而星系彼此间的距离范围只是星系尺度的10~1000倍。因而星系间就有可能发生碰撞；在星系团内星系碰撞的可能性更大。

若两个星系在运动过程中互相靠拢接近，但并没有直接接触，称为星系交会。星系间的近距离交会对星系的结构和动力学状态会产生明显的影响，如一个星系的引力会把另一个星系中的一部分气体和恒星拖出来，并最终脱离原来的星系。

一旦两个星系彼此直接接触或部分接触，就是发生了碰撞。两个星系彼此碰撞时，星系中的恒星只是相对穿越而过，恒星之间并不会直接相撞。但是，星系中的星际介质完全可以直接接触并相互影响，这是因为星际介质的尺度远比恒星大得多。



在碰撞过程中，两个星系间的引力作用，以及星际介质的剧烈相互作用，会对碰撞中星系的形态和演化产生重大影响。有趣的是，如果两个星系以数千千米每秒的相对速度相遇、碰撞，它们有可能安然无恙地对穿而过，两者的外貌与碰撞前并无明显改变的迹象。然而，要是相对速度只有几百千米每秒，情况便完全不同，这是因为引力的作用时间越长，破坏性就越大。在低速碰撞的过程结束后，两个星系

车轮星系是一个旋涡星系被一个小星系高速击穿后形成的，可以看到冲击波的痕迹

互相远离而去，但与碰撞前相比很可能已经变得“面目全非”了。

星系碰撞的另一种结果是“星系并合”，即两

个星系因碰撞而合并成一个星系。在并合过程中，如两个星系的质量相差悬殊，大星系会“吞食”掉小星系，同时它的结构会因小星系的引力扰动而发生明显的变化。例如，银河系盘中的厚盘成分，可能就是因一个小星系的并入，使原来的薄盘受强烈扰动而形成的。



⑩

并合中的星系NGC520



⑪

碰撞的星系NGC4676



⑩

2.8亿光年外4个正在发生碰撞的星系

要是并合中两个星系的质量大致相当，结果不会出现“大吃小”的局面，而是合二为一，形成一个巨星系，同时可能把一部分星际介质甚至恒星抛出去，生成星系尾。有人认为，两个旋涡星系一旦发生碰撞，最终会并合成一个大质量的巨椭圆星系。

现代天体演化理论指出，星系由原星系云经引力坍缩形成，它可以说明不少重要观测事实。但根据这一图景，星系外形应该比较有规则，那么特殊星系的奇特形态和异常性质又作何解释呢？一种颇为流行的观点是，

星系在演化过程中，曾经或正在发生大范围的剧烈活动事件，如星系间的密近交会、碰撞以至并合等，这类过程中星系相互作用必然很剧烈，现在观测到的形状诡异的特殊星系就这样形成了。

上述理论已从观测上得以证实。如特殊星系NGC7252可算是星系并合的一个典型例子。深度曝光图像显示这个星系主体的外形很不规则，有两条明亮且外缘清晰的长条形星系尾从两个方向伸出，每条长尾都因引力作用而由星系盘生成，这意味着有2个盘状星系因相互并合而毁灭了。不过在短时间曝光的图像上，它看上去只是一个普通的椭圆星系，而亮度的分布很平滑，看不出任何特殊结构。

因为距离遥远，特殊星系的结构必须用大望远镜或进行空间观测才能发现，在这方面哈勃空间望远镜发挥了巨大的作用。（赵君亮）

⑩

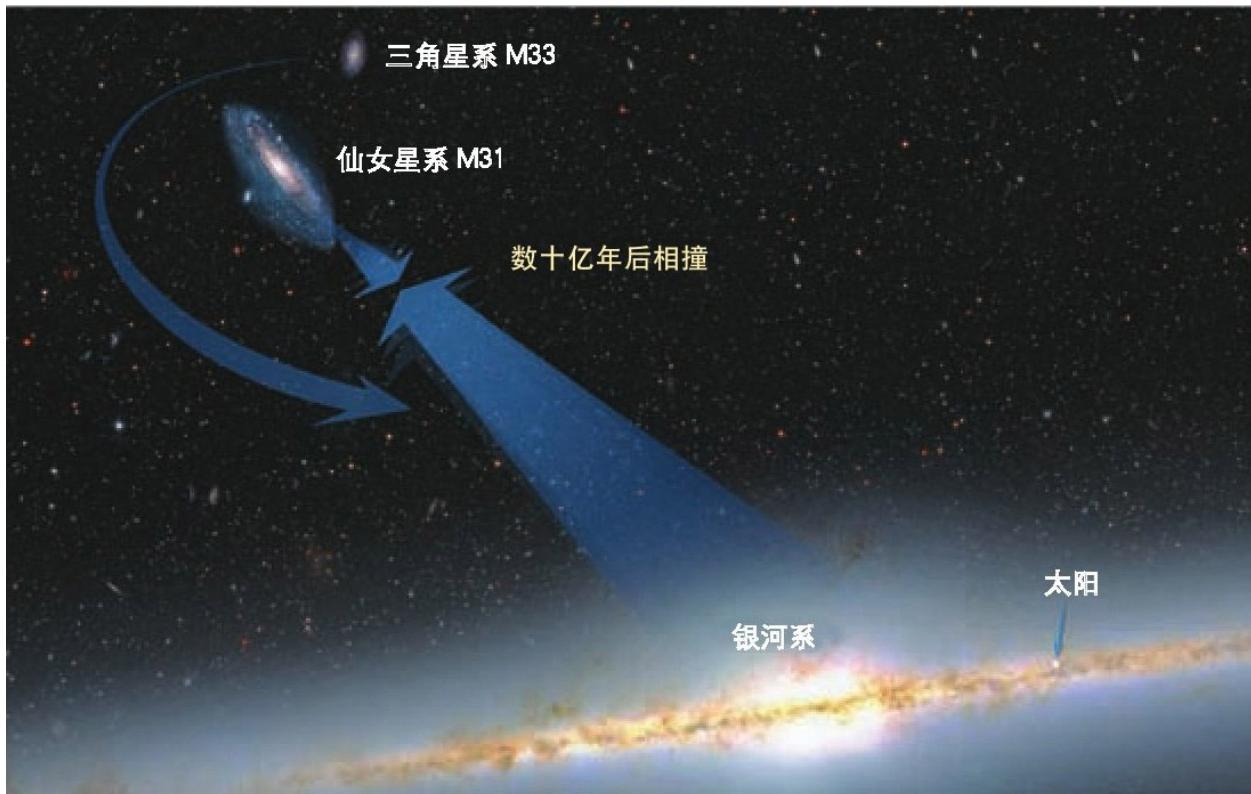


特殊星系NGC7252

银河系也会与其他星系发生碰撞吗

目前，银河系还没有与其他星系发生强烈的相互作用。但在遥远的未来，在引力的作用下，它很可能与其他星系发生碰撞。

仙女星系M31是距银河系最近的巨星系，目前两者约相距240万光年。有人认为数十亿年后这两个星系可能会发生碰撞，届时它们的结构必会发生重大变化。过程当然十分缓慢，但具体情况怎样，如它们是否会并合，或出现何种形式的剧烈活动，太阳的运动轨道会发生多大改变，是否会影响到地球的公转轨道以至影响人类的生存，如此等等，这一切现在当然还无法预测。



⑩

银河系和仙女星系M31碰撞示意图

此外，银河系还有两个小质量近邻伴星系，即大麦哲伦星云和小麦哲伦星云，它们绕银河系转动，且有气体逸出，形成长条形的“麦哲伦流”，通常认为这是因银河系对麦哲伦云的引力作用而从后者中拖曳出来的。麦哲伦星云中的物质可能迟早会流入银河系，并影响到银河系的结构和演化。（赵君亮）

【科学人】麦哲伦

费尔南德·麦哲伦（1480—1521），葡萄牙航海家，出生于葡萄牙北部一个破落骑士家庭。1519—1521年率领船队首次环航地球，死于与菲律宾土著部族的一场冲突。麦哲伦的船队在南半球航行中发现并在日后向欧洲人报道了最终以其名字命名的大、小麦哲伦星云。

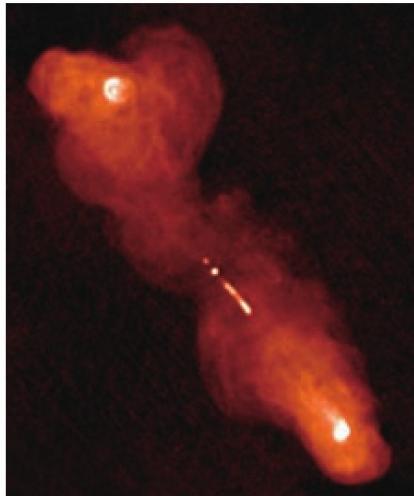
【微问题】为什么上海、北京等地看不到大、小麦哲伦星云？

【关键词】星系碰撞 星系并合 伴星系 麦哲伦云



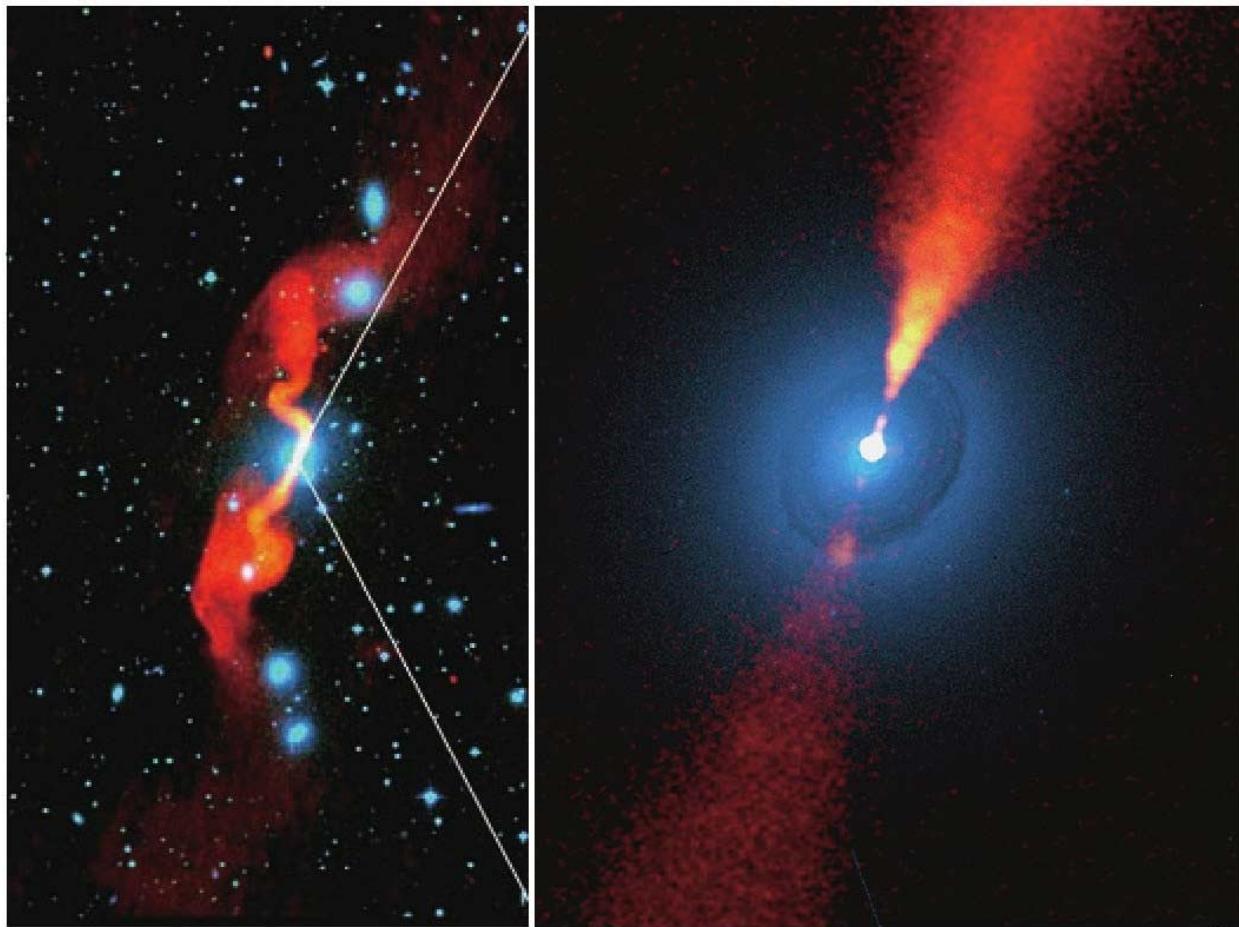
为什么看似恒星的“类星体”并不是恒星

①



射电星系3C219

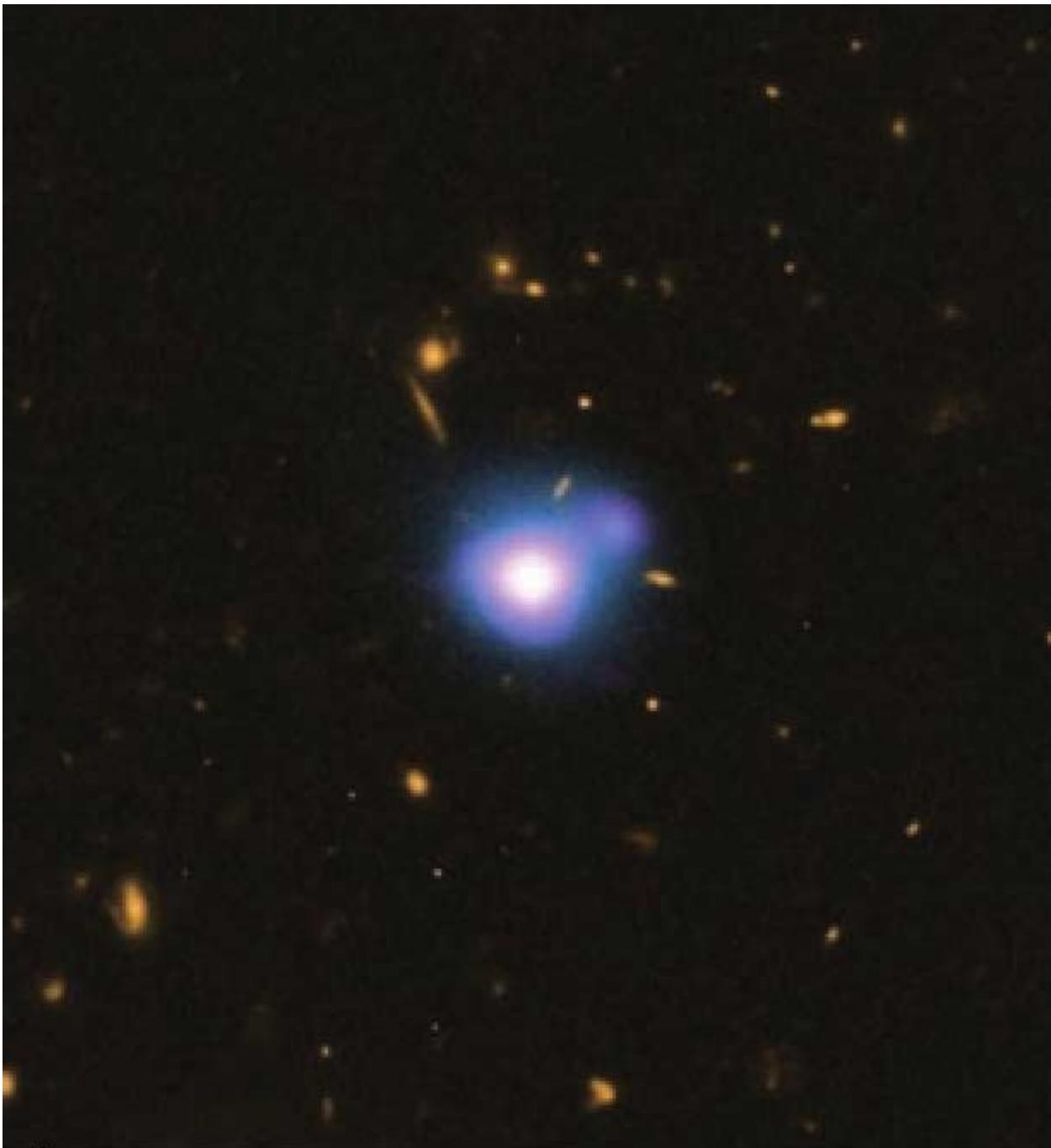
凡是发光的物体，都可统称为“光源”。光源可分为点光源和面光源两大类。点光源是指没有结构的光源，即使在大望远镜中也只是更亮些，而无法看见结构。远处的恒星就是点光源。除此以外的其他天体绝大多数属于面光源，如太阳、月亮、行星、星团、星云、星系等，望远镜可以把它们放大，甚至还能观测到其中的结构细节。



① 射电星系3C31及其喷流

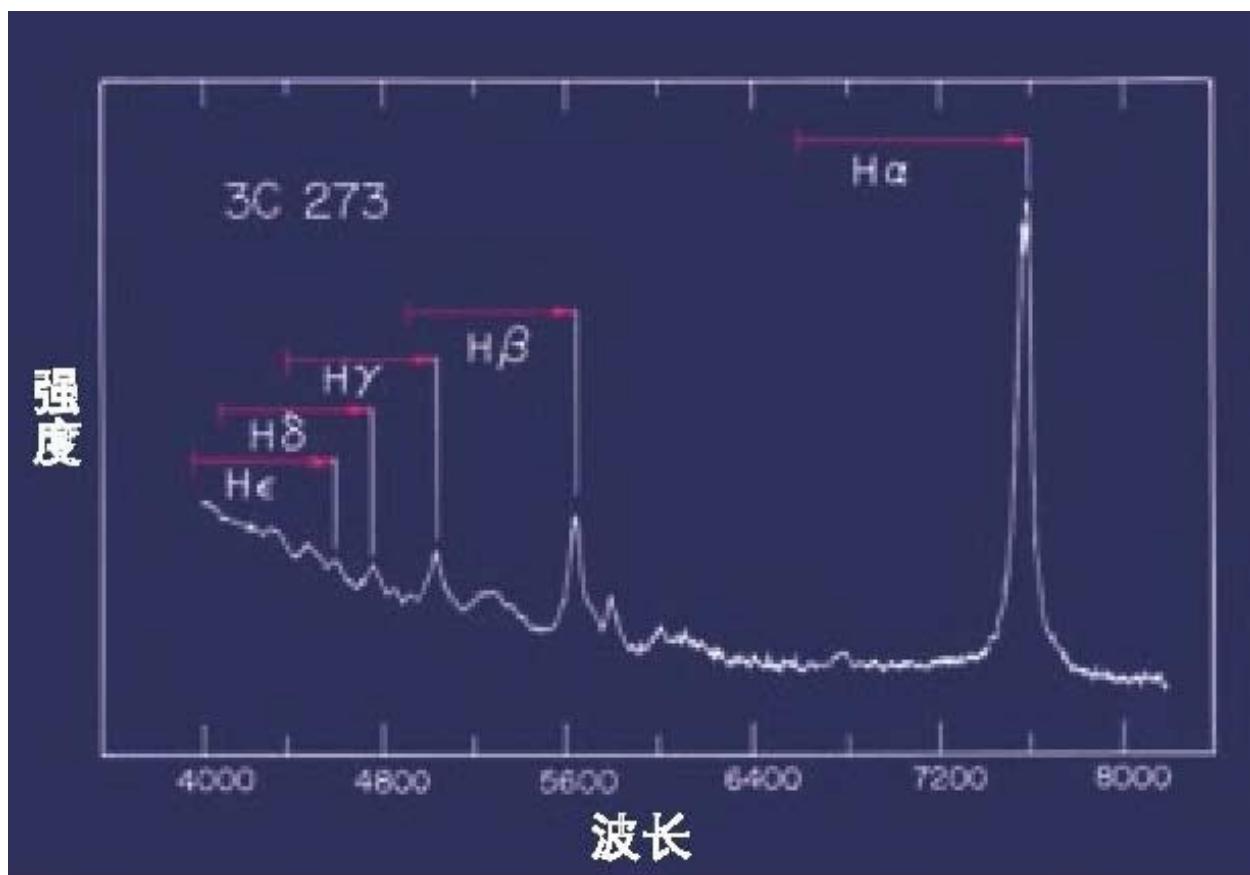
20世纪50年代，由于射电天文学的发展，人们发现有一些天体能发出射电辐射（即无线电波），并将它们统称为射电源。为了确认射电源的“身份”，需要在可见光波段辨识出它们的“光学对应体”，而这在50多年前绝非轻而易举之事。经过努力，天文学家识别有些射电源是银河系中的恒星，冠名为射电星，有的是银河系外的星系，称之为射电星系。

1960年，美国天文学家桑德奇找到一个标号为3C48的射电源的光学对应体。该射电源在照片上的光学特征像恒星，但光谱中拥有恒星光谱所没有的许多宽而强的发射线。人们一时未能识别这些谱线所对应的化学元素。



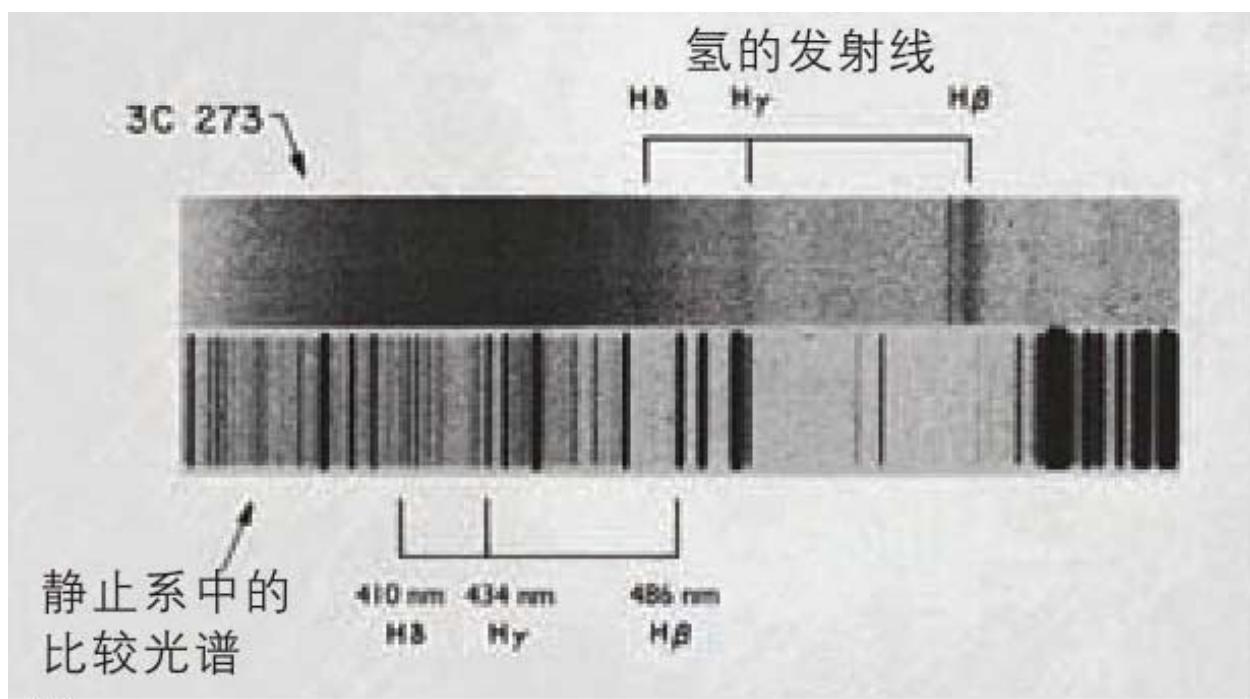
(N)

3C273的光学像很像恒星，几乎看不出结构



②

类星体3C273的光谱



③

从图中可看出3C273的光谱线发生了显著的红移



美国荷兰裔天文学家马丁·施密特

1962年，另一个射电源3C273的光学对应体也被找到了，那也是一个类似恒星的天体。第二年，美国天文学家施密特发现，它的光谱与3C48很类似。施密特还成功识别出3C273光谱中最亮的4条谱线是氢元素的发射线，只是这些谱线的红移很大，达到0.158。3C48的谱线不久也得到了辨认，其红移比3C273还大。此后，一批性质类似的射电源不断被发现。它们的可见光像与恒星类似，因而被称为“类星射电源”。后来又发现一些

光学性质类似的天体，但并不发出射电辐射。它们的光学像呈蓝色，因而被称为“蓝星体”。由于这些天体的光学像都和恒星一样无法分辨出结构，因此被统一称为“类星体”，意为像恒星一样的天体。

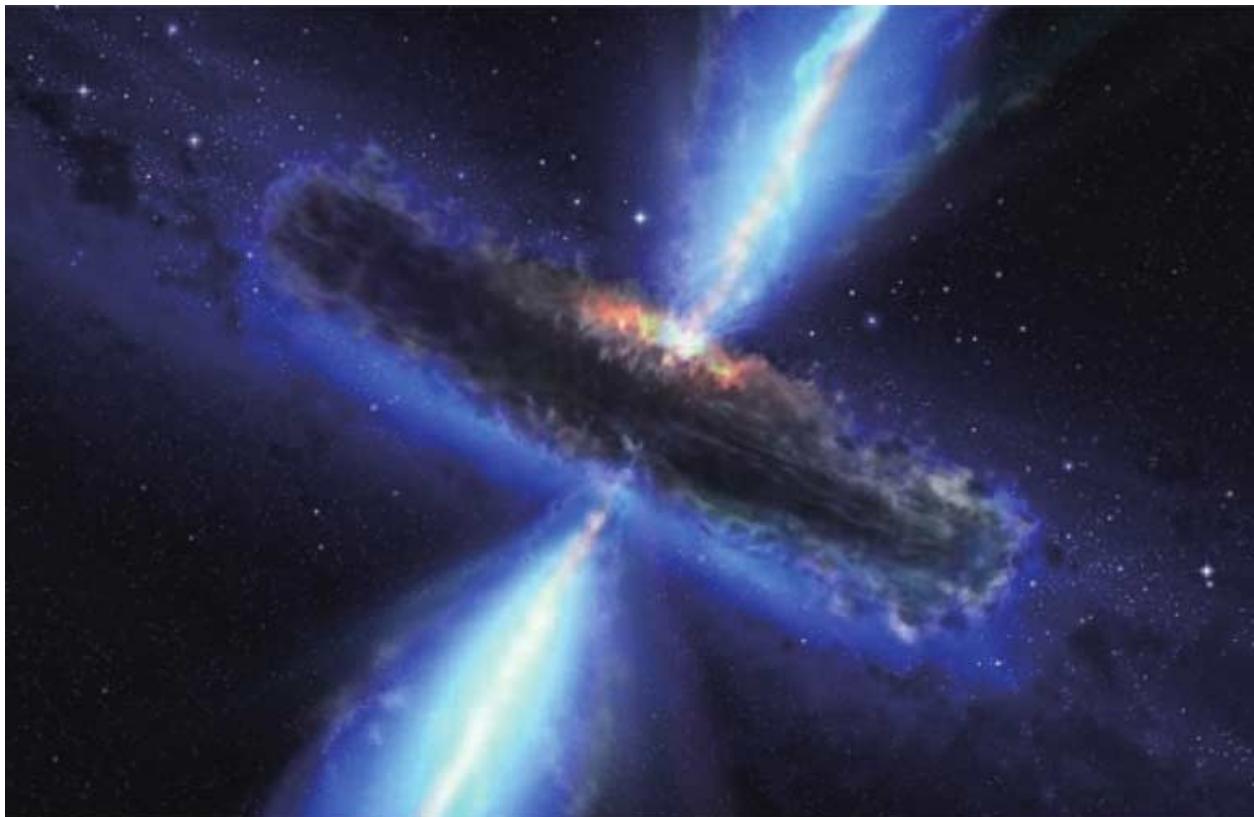
类星体为何有如此大的红移？河外天体谱线红移的起因，通常解释为多普勒效应。红移越大，说明它们以越高的速度远离我们而去，由哈勃定律可知其距离也越远。类星体的红移很大，可见它们是一些非常遥远的天体。

根据类星体的距离和它们的视亮度，我们可以推知其输出的能量。银河系的总光度约为太阳光度的360亿倍，超巨椭圆星系M87的光度为太阳光度的1000亿倍，而典型类星体的光度可高达太阳光度的10万亿倍，即比银河系要亮上千倍。除此之外，类星体还有光变，有时甚至会爆发式地增亮，如类星体3C279在20世纪80年代中两次爆发时亮度猛增25倍，最明亮时的光度竟超过银河系的1万倍。另一方面，类星体的尺度又很小，尚不及银河系的 $1/100000$ ，仅相当于太阳系那么大。

一个小尺度天体可以输出如此大的能量，对此用热核反应来解释显然

行不通，这就是所谓的“类星体能量之谜”。科学家们提出了种种设想。一些人质疑类星体的距离，认为它们的红移不遵循哈勃定律，类星体其实并没有那么远，实际光度也就不那么大了。有人曾提出类星体可能是从银河系或某些河外星系中高速抛出的天体，它们的速度很大，但距离却并不太远。也有人认为类星体的红移并不是由多普勒效应造成的，而是有其他起因，如引力红移等。但这些观点却不能解释另外一些重要观测事实，因而未被天文界普遍接受。

现在知道，类星体应归于活动星系核之列，而且是输出能量最大的一类活动星系核。包括类星体在内的活动星系核为何有非常大的能量输出？流行的观点是那里有一个超大质量黑洞，巨大的能量产生于黑洞与周围物质的复杂相互作用。（赵君亮）



①

类星体的尘埃环和明亮的喷流



类星体中心有一个超大质量黑洞，该黑洞吞噬周围物质形成极其明亮的吸积盘

【微博士】射电星系

一些星系有明显的射电辐射，称为射电星系。 $10^7 \sim 10^{10}$ 赫兹频段内射电功率为 $10^{30} \sim 10^{34}$ 瓦的称为正常射电星系，功率更强 $10^2 \sim 10^6$ 倍的又称特殊射电星系。它们常由一个中央致密核和两侧大致呈对称分布的两个射电瓣组成，瓣的尺度比核大得多。中央致密核的尺度虽小，但高分辨率观测却发现其结构颇为复杂，通常又由若干个更小的子源组成。射电瓣离开中央核的距离可达 $10^2 \sim 10^6$ 秒差距，并通过细长的喷流与核相联系。射电星系的中心通常有一个活动的核，射电辐射即源于从中心射出的接近光速的高速电子。

【微问题】类星体是指活动星系，还是活动星系的核？

【关键词】射电星系 类星体 活动星系核 吸积盘

为什么星系也爱抱成团

借助于地面上的超大望远镜以及各波段的空间望远镜，天文学家发现有一些天区的星系分布比平均情况更加致密，星系显示出成群或成团的聚集状态。如果“抱团”的星系数量小于50个，通常就称它们为星系群；数量大于50个，则称为星系团。观测到的星系中，超过85%都是星系群或星系团的成员。星系团通常聚集为超星系团，甚至更大的结构，横贯整个人类可观测的宇宙。

为什么星系也与恒星类似，喜欢“拉帮结伙”呢？原因仍然可以追溯到牛顿那里。万有引力名副其实，即使在以星系为基本单元的大尺度宇宙中，引力仍然发挥着作用。正是由于引力的作用，星系彼此间吸引，聚集而成团。当然在星系团这样的庞然大物中，参与引力作用的不仅是可以在各个波段探测到的发光物质，还有更为神秘的暗物质。

如果更深究星系成团的原因，可以回溯到宇宙诞生之初。量子涨落引起的原初扰动，使均匀的宇宙随机产生了一些密度较高的区域。在引力作用下，这些高密度区域的物质会吸引更多的物质，密度越来越高。这些就是将来形成星系团的地方。

星系团是我们已知最大的引力束缚系统。整个星系团呈球状，典型的星系团直径为500万~3000万光年，质量大约为1000万亿倍太阳质量。星系团中星系的运动速度非常快，必须有很大质量的物质产生的引力，才能拉住这些跑得飞快的星系，把它们束缚在星系团中。可见光波段观测到的物质所产生的引力，尚不足以束缚住这么高速度运动的星系，因此星系团中的暗物质应该起了主要的引力束缚作用。据推测，星系团总质量中仅有5%的质量为星系，10%为气体，其余均为暗物质。（陈冬妮）



⑩

深埋在星系团内部的旋涡星系NGC4911，可看到周围的星系

【科学人】艾贝尔



乔治·艾贝尔（1927—1983），美国加州理工学院天文学教授，同时也是优秀的科普作家、教育家、管理者。艾贝尔最知名的工作是他编制的星系团表，此外，他指出星系团的光度可以作为测量它们的距离的“标准烛光”。

艾贝尔是多个大型项目的主持人，多年担任国际天文学联合会（IAU）宇宙学专业委员会主席，太平洋天文学会主席和组委。1970年艾贝尔成为英国皇家天文学会会员，1968—1975年任加州理工学院天文系主任，他还曾是美国天文学会教育委员会主席。小行星3449号艾贝尔和英格兰的乔治·艾贝尔天文台都以他的名字命名。

为什么说星系团也有“贫”有“富”

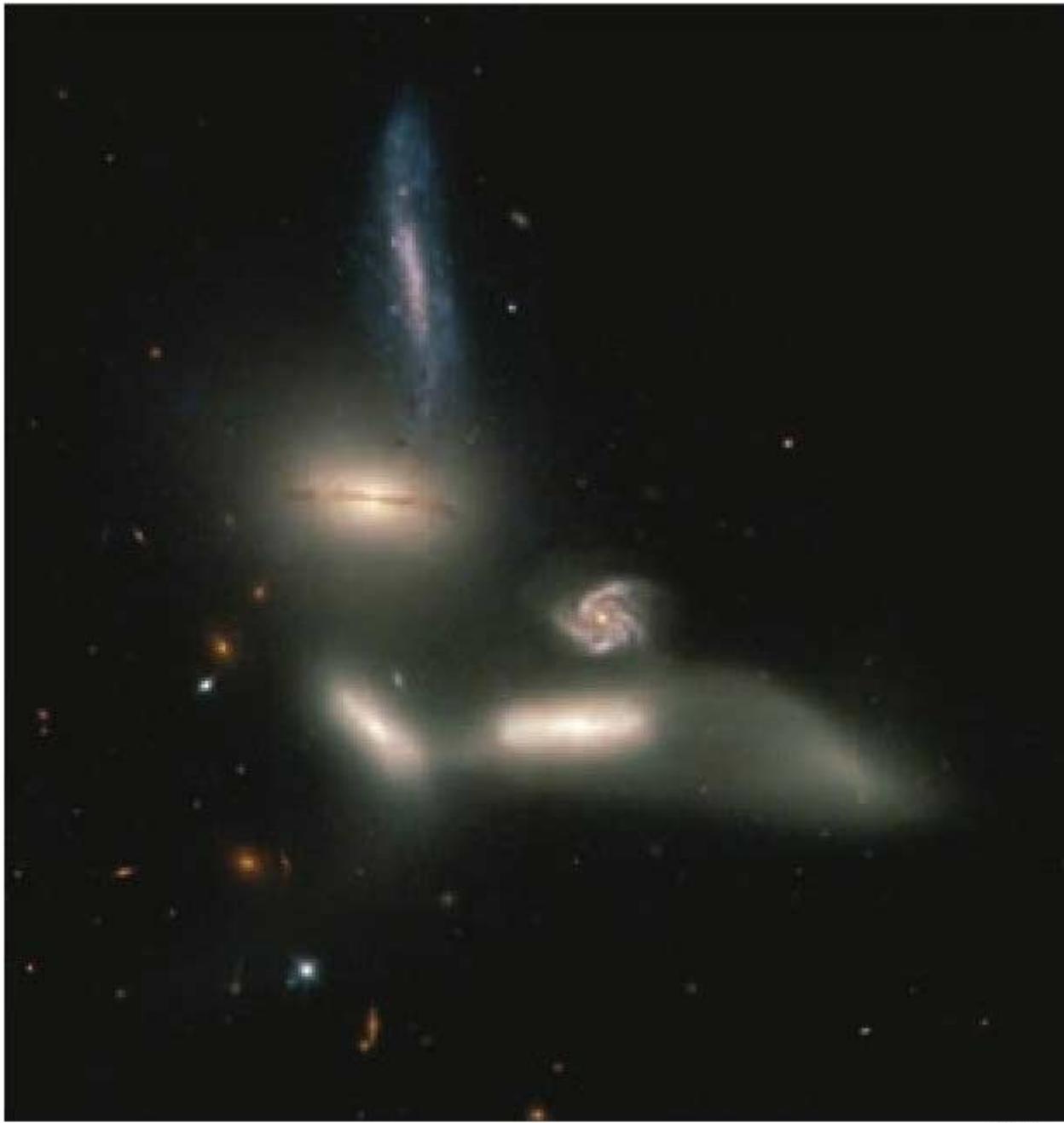
为了便于研究，科学家把观测发现的星系团编制成星系团表。20世纪中期开始，美国科学家艾贝尔把帕洛玛星系巡天数据中的4000个星系团汇

编成红移值直到0.2的近乎完备的星系团总表，成为天文学家们最常用的星系团表。在编制星系团表时，艾贝尔定义了一个“富度”作为星系团的分类标准。“富度”是这样确定的：选定一个星等标准，其数值比星系团中第三亮的星系的星等大2等（即暗6.3倍）；然后计数此星系团中小于这个星等标准（即亮于这个星等）的成员星系数量。星系数量多的称为“富”星系团，星系数量少的称为“贫”星系团。艾贝尔进一步根据星系团的“富度”将其表中的全部星系团分为六组，最“贫”的一组，每个星系团的成员星系数目为30~49个，最“富”的一组，每个星系团的成员星系数目超过299个。最“富”的星系团中达到标准的成员数量可达几千个。星系团的“贫富差距”同它们的形成和演化有关，特别是同它们的暗物质分布有关。（陈冬妮）



W

有1000多个成员星系的后发座星系团是一个富星系团



◎

著名的赛弗特六重星系

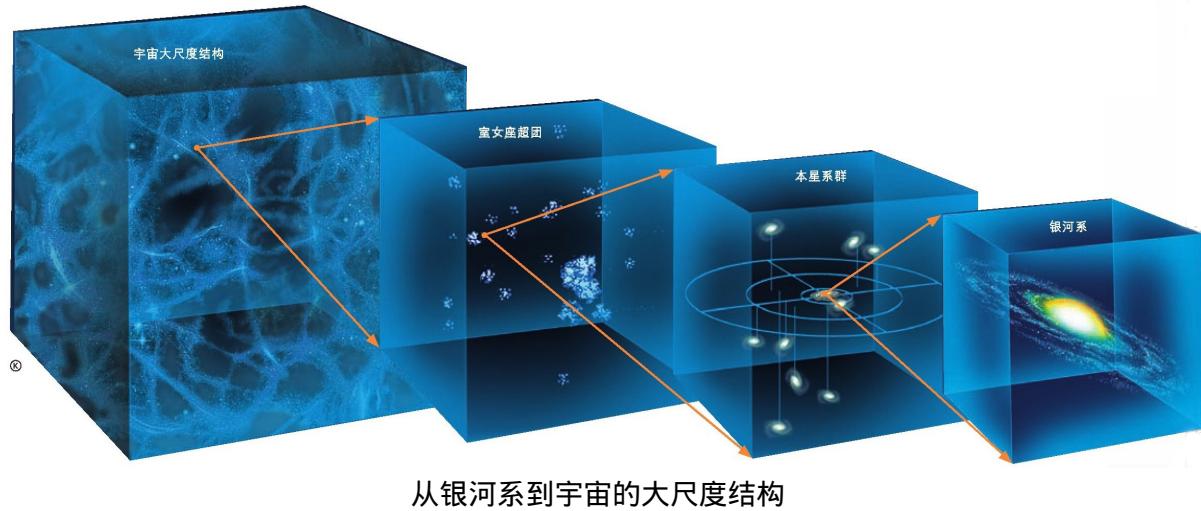
为什么说银河系不孤单

我们的银河系并不孤单，它是“本星系群”的一员。本星系群直径约

1000万光年，包括40多个成员星系，其中质量最大的是银河系和仙女星系，质量大约为1万亿个太阳质量。同时，本星系群自身又是室女座超星系团的一部分。

室女座超星系团又称本超星系团，是包括室女座星系团和本星系群的一个不规则的超星系团。共包含约100个成员星系群和星系团，直径达1.1亿光年。

1982年，天文学家布兰特·塔利发表了对本超星系团基本结构的研究结果：较扁的盘状结构包含了本超星系团大约2/3的明亮星系，另外1/3的亮星系分布在近乎球形的晕中。本超星系团的体积大约为本超星系群的7000倍。2003年通过对“2°视场星系巡天”数据的分析，发现本超星系团中心是一个富星系团，周围是纤维结构和一些较贫的星系群。本星系群处于本超星系团的边缘，位于从天炉座星系团延伸至室女座星系团的纤维结构中。本超星系团绝对称得上是庞然大物，但它也只是我们可观测宇宙内大量超星系团中的普通一员。（陈冬妮）



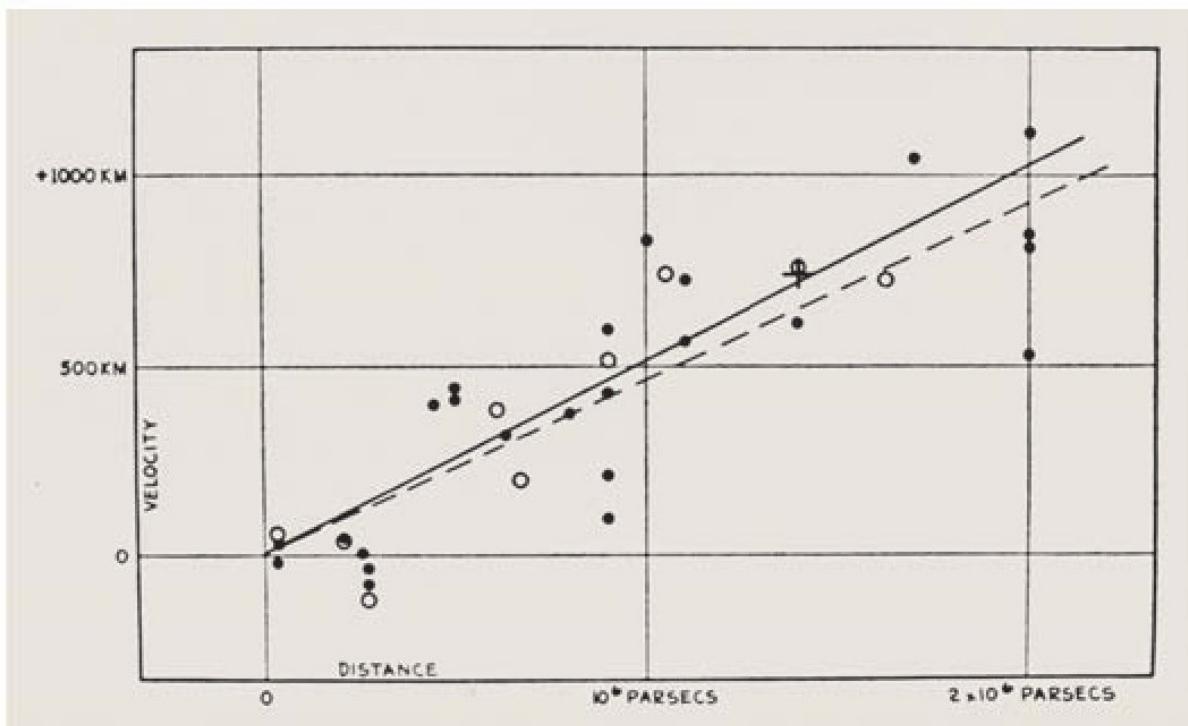
【微问题】星系团的中心为什么会有很热的气体？

【关键词】星系群 星系团 超星系团

为什么存在哈勃定律

自河外星系之本质被揭开后，人类的视野从银河系拓展到了星系世界。天文学家开始把注意力转向星系，哈勃本人更是全力从事星系的实测和研究，包括测定它们的视向速度和距离，以探求两者之间是否存在某种关系。

①



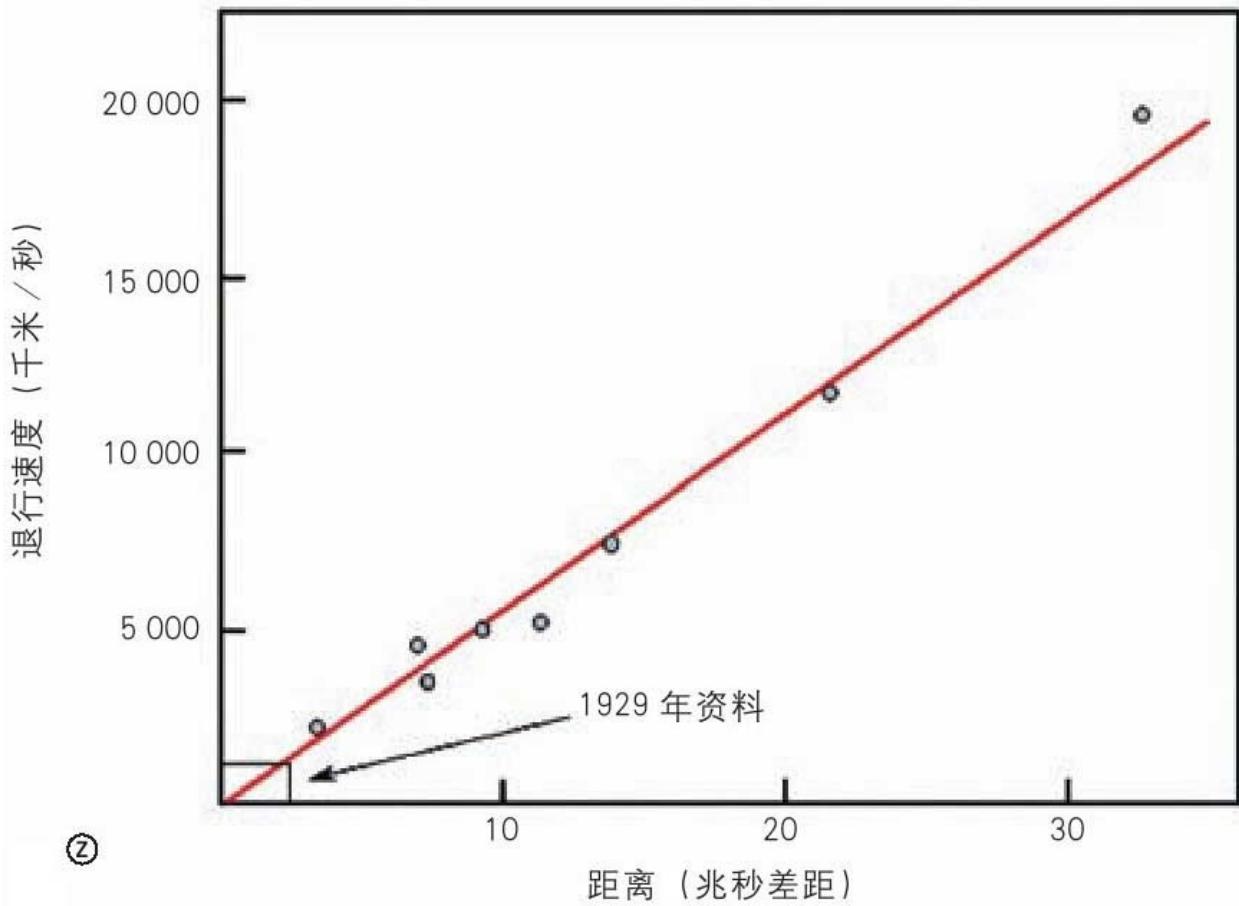
哈勃1929年发表的“河外星云的速度-距离关系”原图，横坐标是距离，以秒差距为单位；纵坐标是视向速度，以千米/秒为单位。各种不同记号的含义，在哈勃的原文中均有详细说明



为了纪念哈勃，人们用他的名字命名了这架望远镜，即“哈勃空间望远镜”

为了纪念哈勃，人们用他的名字命名了这架望远镜，即“哈勃空间望远镜”

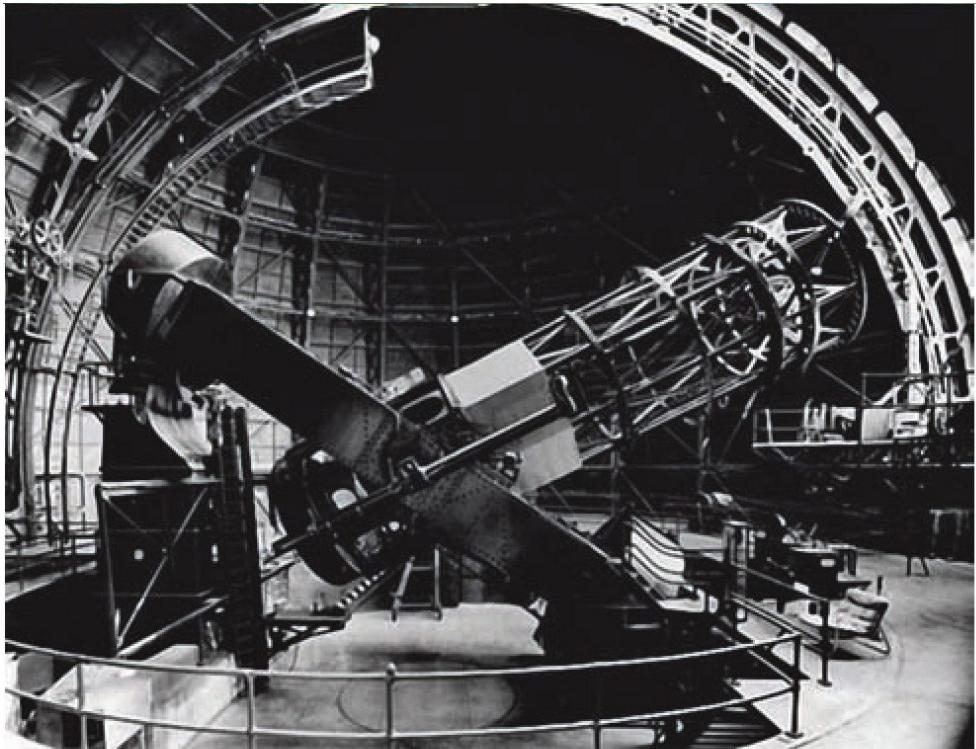
天体运动速度在观测者视线方向上的分量称为视向速度。测定天体视向速度的基础是物理学中的多普勒效应。多普勒效应是奥地利物理学家多普勒于1842年首先发现的，说的是运动中的声源发出的声音在静止观测者听来波长（或频率）是变化的，静止观测者听到的运动声源所发出的声音波长 λ ，与声源静止时声音的波长 λ_0 之间，存在着简单的关系 $(\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 = v/c$ ，这里 v 为声源运动速度， c 为声速。



如把多普勒效应用于天体光线的传播上，那么上述简单公式中的c代表光速，v代表天体的视向速度。只要测得运动天体光谱中某条谱线的波长 λ ，以及相应的静止波长 λ_0 ，即可利用上述公式推算出天体的视向速度v。 $(\lambda - \lambda_0)$ 称为多普勒位移，如 $(\lambda - \lambda_0) > 0$ ，光谱线波长变长，谱线朝光谱的红端移动，称为红移，表明天体作远离观测者的退行运动；反之，如 $(\lambda - \lambda_0) < 0$ ，光谱线波长变短，谱线朝光谱的蓝端移动，则称为蓝移，天体作朝向观测者而来的运动。这就是测定天体视向速度的基本原理。

经过几年不懈的工作，到1929年，哈勃获得了46个星系的光谱，并发现它们表现出普遍性的谱线红移。如果用多普勒效应来解释，那就说明所有星系都在远离地球运动，速度可高达数百甚至上千千米每秒，甚至更大。这与银河系中的恒星截然不同：恒星光谱有红移，也有蓝移，表明有

的在靠近地球。有的在远离地球，但速度仅为每秒几千米或数十千米。



⑩
美国威尔逊山天文台2.54米口径望远镜。哈勃用它进行观测，作出了一系列极为重要的发现

在进一步估计星系的距离之后，哈勃惊讶地发现，距离（记为 r ）越远的星系视向速度 v 也越大，两者之间存在着简单的正比关系： $v=H_0r$ 。星系的这种速度-距离关系，就是著名的哈勃定律，其中的比例系数 H_0 称为哈勃常数。

1929年3月，哈勃首次发表他的这一研究成果。在那46个已知视向速度的星系中，仅有24个确定了距离，它们的视向速度不超过1200千米每秒。当时得到的星系之速度-距离关系也不十分明晰，单个星系对关系式 $v=H_0r$ 的弥散比较大。后来哈勃与助手赫马森合作，又获得了另外50个星系的光谱，其中视向速度最大的已接近2万千米/秒。在他们两人于1931年发表的论文中，星系的速度-距离关系得到进一步确认，且更为清晰。1948年，他们测得长蛇星系团的退行速度已高达6万千米/秒，而速度-距离的正比关系

依然成立。今天，哈勃定律已为天文界所公认，它在宇宙学研究中有着特别重要的作用。

那么，哈勃定律又说明了什么呢？

在哈勃定律发现之前，俄罗斯数学家弗里德曼于1922年首次从理论上论证了宇宙膨胀的可能性，对爱因斯坦静态宇宙提出了挑战。5年后，比利时天文学家勒梅特提出了均匀各向同性的膨胀宇宙模型，指出天体的退行运动起因于空间膨胀，并预言退行速度 v 应该与天体的距离 r 成正比。在20世纪20年代，通信手段和科学家之间的交流还远不如今天快捷。因此，生活在大西洋彼岸的哈勃在相当一段时间内对勒梅特的工作一无所知。哈勃独立地通过实测发现了关系式 $v=H_0r$ ，有力地支持了弗里德曼和勒梅特的理论——今日所称的大爆炸宇宙模型的雏型。

通过测量一批星系的视向速度和距离，便可确定哈勃常数 $H_0=v/r$ 。这一方法的原理看似简单，具体实施却颇为不易，一个重要原因是星系运动的复杂性。

星系的上述普遍性退行运动称为哈勃流，这是一种遵循哈勃定律的系统性运动。实际上，除参与哈勃流运动外，因局部高质量天体的引力作用，星系自身还有偏离哈勃流的所谓“本动”，而本动并不服从哈勃定律。星系越远，本动部分占星系观测运动中的比例越小。要想尽可能减小本动的影响，就应该用尽可能远的星系来确定比例常数 H_0 。为了测定准确的 H_0 值，天文学家已经花了好几十年的时间，目前哈勃常数的最可靠值为 $H_0=73$ 千米/（秒·兆秒差距）。（赵君亮）

【微博士】哈勃常数之变迁

哈勃常数 $H_0=v/r$ ，它的单位便是速度（以千米/秒表示）除以距离（通常以兆秒差距表示，1兆秒差距就是 10^6 秒差距）。起初哈勃和赫马森得出 $H_0=526$ 千米/秒·兆秒差距=526千米/（秒·兆秒差距）。20世纪50年代初，随着星系距离测定精度的提高， H_0 值修订为260千米/（秒·兆秒差距），

1956年又减小为180千米/（秒·兆秒差距），1958年进而减小为75千米/（秒·兆秒差距）。鉴于精确测定 H_0 的重要性，在嗣后的近半个世纪内，天文学家通过不同途径，利用更大星系样本对 H_0 进行了大量的测定，所得结果总体上呈现不断变小的趋势。

【微博士】哈勃时间

哈勃常数的倒数 $t_0=1/H_0$ 称为哈勃时间。哈勃定律是宇宙膨胀的一种观测效应，据此可推知在遥远过去的某个时间（即 t_0 ）之前，宇宙中所有的物质必聚集在一个极小的空间范围内。因此，一旦确定了哈勃常数，便可估计宇宙的年龄。

【科学人】哈勃

埃德温·哈勃（1889—1953），美国天文学家，星系天文学的奠基人，观测宇宙学的开创者。从1919年起，在威尔逊山天文台工作，直到去世。对天文学有许多贡献，其中最重要的有两项：一是确认河外星系是与银河系相当的庞大恒星系统，二是发现了哈勃定律。

【微问题】如何由哈勃常数估算可观测宇宙的年龄？

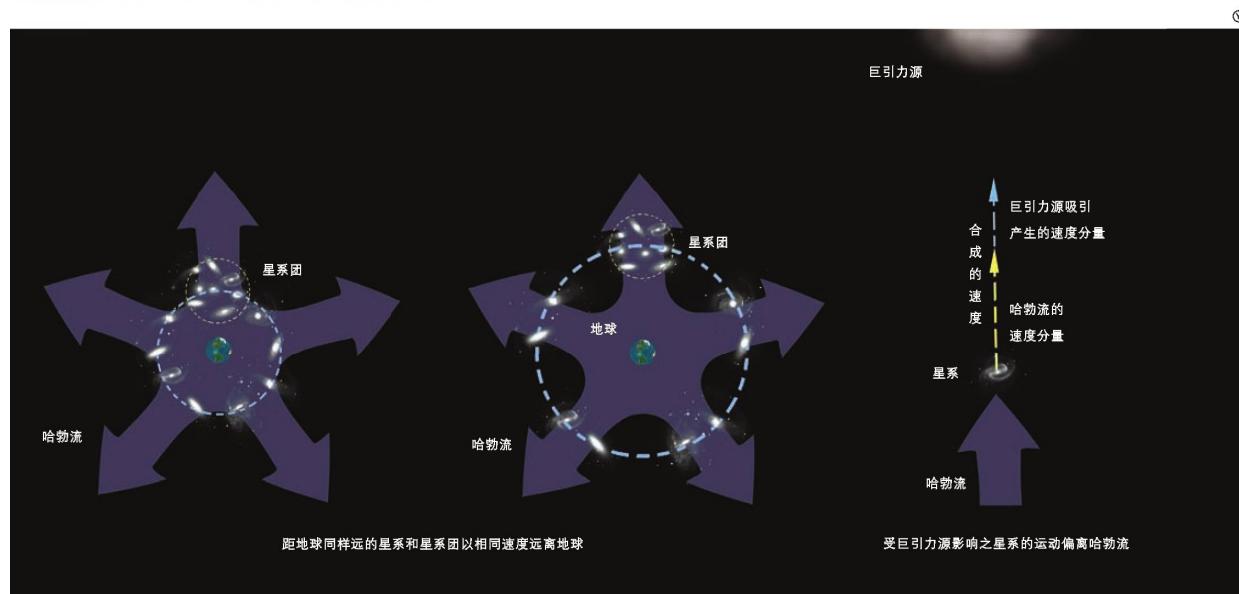
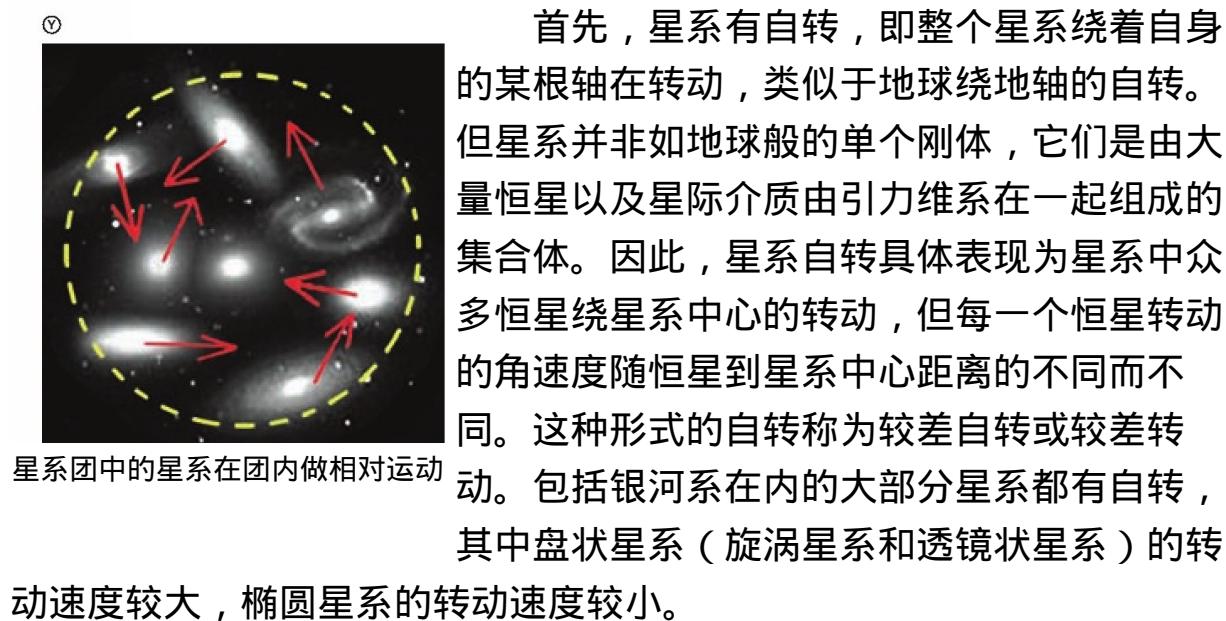
【关键词】星系天文学 哈勃定律 哈勃常数



◎

为什么说星系的运动很复杂

世间万物无不处于运动之中，各类天体亦是如此，其中也包括庞大的星系。那么，星系处于何种运动状态呢？



星系受巨引力源的引力作用，导致视向速度与哈勃流速度不符

除自转外，星系还在宇宙空间中参与多种形式的整体运动。从太阳所处位置上看，星系的运动主要含两种成分，即系统性的退行运动和星系的本动。

星系参与系统性退行运动情况较为简单。在宇宙中任一点的观测者看远处的星系，都会发现它们在远离自己而去。这种退行缘自宇宙大爆炸引起的空间膨胀，其速度大小服从哈勃定律，即距离越远，退行速度越大，因此，这种系统性的退行运动又称为“哈勃流”。例如，较近的室女星系团距离为6200万光年，退行速度约1200千米/秒；距离为32.6亿光年的长蛇II星系团，退行速度高达60000千米/秒。

相比之下，星系本动的情况则要复杂得多。

星系的本动，指单个星系的本身运动，其速度（包括大小和方向）因星系而异，具体情况取决于周围其他星系的引力作用。在许多地方，星系的空间分布“杂乱无章”，星系本动速度的大小和方向也就各不相同，用数学语言来表述就是“随机分布”，没有什么规律。但是，倘若在一个区域内存在某种质量巨大的天体系统，如星系团或超星系团，那么该系统巨大的引力作用就会使附近大批星系的本动速度呈现一定的规律性，即表现出一致趋向该高质量天体系统的运动。正因为如此，仔细分析星系本动的规律，便可发现这种局域性的高质量天体系统，并进而探究其性质。

1988年，英国天文学家林登贝尔等人分析了400个椭圆星系的本动速度，结果表明这些星系的本动呈现两种系统性变化趋势：其一是趋向室女星系团中心的运动，其二是朝向半人马座中某一点的运动。趋向室女星系团中心的运动，是因为室女星系团的引力，使周围星系的运动偏离了哈勃流。而朝向半人马座中某一点的运动，则说明那个方向上必有一个区域集聚了大量的物质，或者说集中了大量的星系团（包括其中的暗物质），人们将其取名为“巨引力源”。巨引力源的总质量估计为太阳质量的 5×10^{16} 倍，超过银河系质量的35万倍。其造成的星系对哈勃流的偏离更为明显。巨引力源的距离约为2亿光年，比室女星系团远得多，但它所引起的星系本

动速度接近600千米/秒，而室女星系团引起的星系本动仅为约250千米/秒。巨引力源的位置恰好处于银道面附近，由于星际消光非常严重，直接观测颇为不易，但通过对星系运动状态的分析，仍然可以探知它的存在。



室女星系团中心区域。室女星系团是离我们最近的大星系团，有超过1000个成员星系

上面所讨论的对象是“场星系”即不隶属于星系团的星系。对于星系团内的星系（称为团星系）来说，运动状态也许更为复杂，因为除了参与星系团的整体运动外，团星系个体还在星系团内部作相对运动。

星系团会有缓慢自转，表现为团内星系绕着星系团中心在转动。但

是，不同星系在团内的运动速度并非“步调一致”，而是略有不同，这就是说团内星系之间有相对运动。全部团星系相对运动速度的大小通常用弥散速度来衡量。一般来说，星系团的范围越大，或者团内星系的个数越多，团星系的弥散速度也越大；小星系团内星系的弥散速度约为250~500千米/秒，而大星系团内星系的弥散速度可高达2000千米/秒。

星系团的整体运动，也含有服从哈勃定律的哈勃流运动和团的本动两种成分。由于哈勃流运动的规律是距离越远，退行速度越大，因而对于非常遥远的星系团来说，团的本动相对于哈勃流并不占主要地位，但近星系团的本动速度可以很明显，甚至可以超过哈勃流的速度。（赵君亮）

【微博士】星系的自转曲线

恒星到星系中心的距离称为恒星的中心距。恒星绕星系中心转动的线速度随恒星中心距变化的曲线，称为星系的自转曲线。自转曲线反映了星系不同部位绕轴自转速度的变化，可用于估算星系的总质量。对于像银河系那样的旋涡星系来说，自转曲线的形状通常是从星系中心部分起，星系自转速度不断增大；但到达某一中心距后曲线便大致保持平坦，或略有抬高。

【微博士】星系运动速度的测定

星系距离遥远，唯一能取得的运动学资料是其视向速度，即沿视线方向接近或远离地球的运动速度。由于观测在地球上进行，在视向速度观测值中必须扣除地球本身自转和公转运动造成的影响，方能用于研究星系的运动。

【微问题】为什么少数近星系会朝向我们运动？

【关键词】星系本动 哈勃流 巨引力源

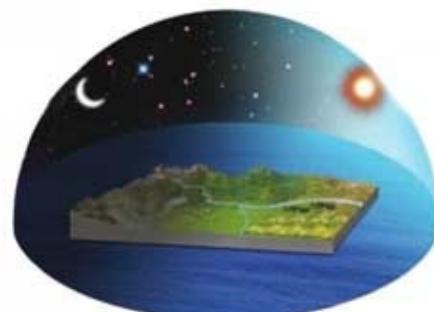
宇宙学

为什么说宇宙学是一门古老而又年轻的学问

中国战国末期的尸佼提出“四方上下曰宇，往古来今曰宙”，表明“宇”指空间，“宙”指时间，宇宙是时间和空间的统一。世界上的各个古老文明，都有关于宇宙、天地起源的传说。例如，中国古代很早就流传着盘古开天辟地的神话。古代印度人认为大地由四头大象驮着，大象站在一只巨龟的背上，巨龟又浮在水中……

把宇宙作为一个整体，来探索它的结构、运动、起源和演化，就是“宇宙学”这门学科研究的内容。上面那些神话传说，是古代宇宙学的萌芽。人们不论在哪里仰望天空，都会觉得自己在天穹圆球的中心，所以许多古老民族又形成了各自的以大地为中心的宇宙学说。

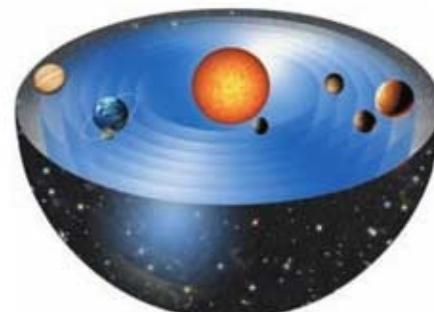
16世纪，波兰天文学家哥白尼提出了日心宇宙体系，使人们认识到地球并不是宇宙的中心。18世纪，英国天文学家威廉·赫歇尔发现太阳在银河系中不停地运动，它也不是宇宙的中心。20世纪20年代，美国天文学家哈勃证明银河系本身又只是星系世界中的普通一员。如今，人类观测到的宇宙范围已经超过百亿光年。



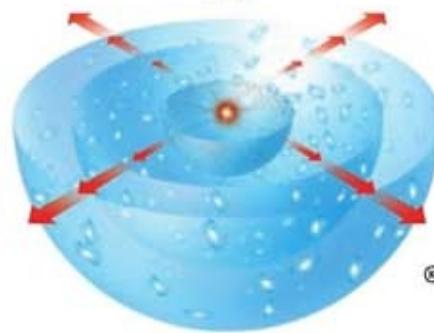
盖天说



地心说



日心说



大爆炸宇宙论

人类对宇宙的认识

17世纪初，人们开始通过实验和观测，来寻找物质运动和演化的普遍规律，并把这种规律推广到整个宇宙。英国科学家牛顿在1687年发现了万有引力定律。“万有”这个词表明他认为这个定律适用于整个宇宙。正是牛

顿的力学定律和万有引力定律，使宇宙学成了一门近代科学。1915年，出生在德国的物理学家爱因斯坦提出了“广义相对论”，并利用广义相对论从理论上推算宇宙整体的运动和演化特征，所以人们常说爱因斯坦开创了现代宇宙学。

科学家对现代宇宙学中的不少问题看法并不完全相同，这样就产生了各种不同的理论。它们都必须经受更多观测事实的进一步检验。同观测结果吻合的理论，将会获得新的生命力；同观测事实相矛盾的，则难免衰落直至消亡。如今，宇宙学依然在朝气蓬勃地发展着，当前能最好地解释各种天文观测结果，从而被大多数天文学家采纳的宇宙学理论，就是著名的大爆炸宇宙论。（卞毓麟）

【微博士】关于盘古的神话传说

相传盘古生于天地混沌中。后来天地开辟了，天每日高一丈，地每日厚一丈，盘古每日长一丈。经过一万八千年，天变得极高，地变得极深，盘古也变得极长了。盘古顶天立地，最后精疲力尽而死。他死后全身化成了万物：气化为风云，声化为雷霆，左眼化为太阳，右眼化为月亮，血液化为江河，肌肉化为田土，须发化为星辰，皮毛化为草木……盘古的献身使世界变得美丽多姿，人们都很敬佩他。

【微博士】人类宇宙观念的演变

主要有以下四个阶段：一是古代朴素的宇宙观，例如所谓的“天圆地方”；二是地心说，认为大地是宇宙的中心，日月星辰都绕着大地转动；三是日心说，认为太阳是宇宙的中心，行星都环绕太阳运行，但对于恒星世界的认识进步不大；四是现代宇宙学说，其中居主导地位的大爆炸宇宙论认为，宇宙起源于大爆炸，而且至今仍在不断膨胀。

茫茫宇宙中都有些什么

宇宙万物由各种粒子组成。例如，不同数目的质子和中子相结合，形成不同的原子核；不同的原子核又同外围的电子组成种种不同的原子；原子再结合成分子，分子又构成宇宙间千差万别的物体。



⑩

有着千亿颗恒星的旋涡星系NGC5806，其中有一颗超新星正在爆发



⑪

星系中心的大质量黑洞

宇宙中的天体形形色色。太阳系内，有太阳、行星、矮行星……太阳系外，有众多的恒星、星云、星际物质……它们共同组成了银河系；银河系以外，又有众多的河外星系、星系际物质、星系团，以及尺度更大的天体系统。

先说太阳和太阳系。太阳是一颗颇有代表性的典型恒星，如今已经近50亿岁，它是太阳系的中心天体。太阳系中有8颗行星，其中地球差不多正好位于太阳周围宜居带的中部，并且幸运地成了生命的乐园。除水星和金星外，其他行星各有为数不等的卫星。太阳系中目前已确认的矮行星有5颗，另外还有数以十万计的小行星和大量的彗星，流星体和行星际物质则遍布整个太阳系。

再说恒星和银河系。恒星彼此相距很远，离太阳最近的恒星是半人马座比邻星，与太阳相距4.22光年（约 4×10^{13} 千米）。太阳和其他约2000亿颗恒星，以及众多的星云和星际物质，共同构成一个直径达82000光年的庞大天体系统，即银河系。恒星的种类繁多，大小、光度和年龄各异，在银河系中的分布方式也很耐人寻味。天文学家对恒星如何诞生、成长、衰老和死亡的过程已经了解得很深入，这是现代科学中意义深远的重大成果。

银河系是一个普通的星系，如今发现的星系已达上千万个。星系按形态不同，可分为旋涡星系、椭圆星系和不规则星系等几大类；按物理状态不同，又可分为正常星系和活动星系两大类。例如，类星体就是光度特别大的一类活动星系。以星系为基本单元构成的天体系统，按成员星系数目由少而多依次称为星系群、星系团和超星系团，后者的尺度可达数亿光年。20世纪后期又发现由大量星系构成的“巨壁”等尺度更大的特征，称为宇宙的大尺度结构。

此外，宇宙间还充斥着从早先残留下来的背景辐射，以及目前尚未揭开神秘面纱的暗物质和暗能量。所有这一切都是现代宇宙学关注的对象，也为人类洞察宇宙的身世提供了重要的线索和依据。（卞毓麟）



⑩

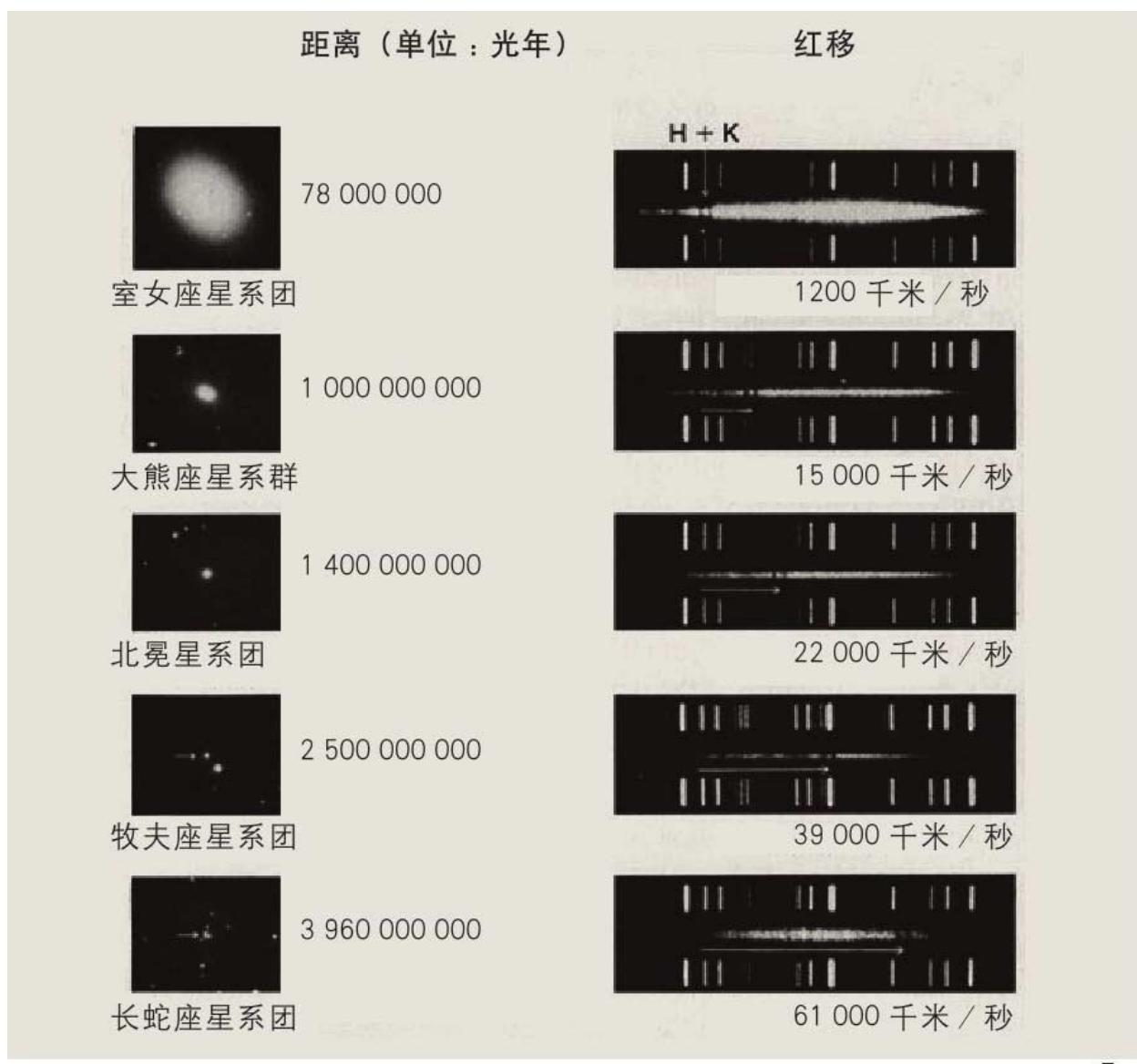
位于鹰状星云内的“创生之柱”中间有一批恒星正在快速生成

【微问题】为什么科学家要把“宇宙学原理”作为研究宇宙的出发点？

【关键词】大爆炸宇宙论 恒星 银河系

为什么说宇宙在膨胀

古人所知的宇宙只有太阳、月亮和星星。它们周而复始地东升西落，以及行星在黄道附近漫游的景象，引起了人们不懈的思考。在16世纪，人们终于认识到，上述现象原来是地球自转和公转的反映。由于众多恒星在天球上的相对位置移动难以觉察，尤其是缺乏测量天体在视线方向运动速度的有效手段，使得“天不变”成为长期占据统治地位的思想。



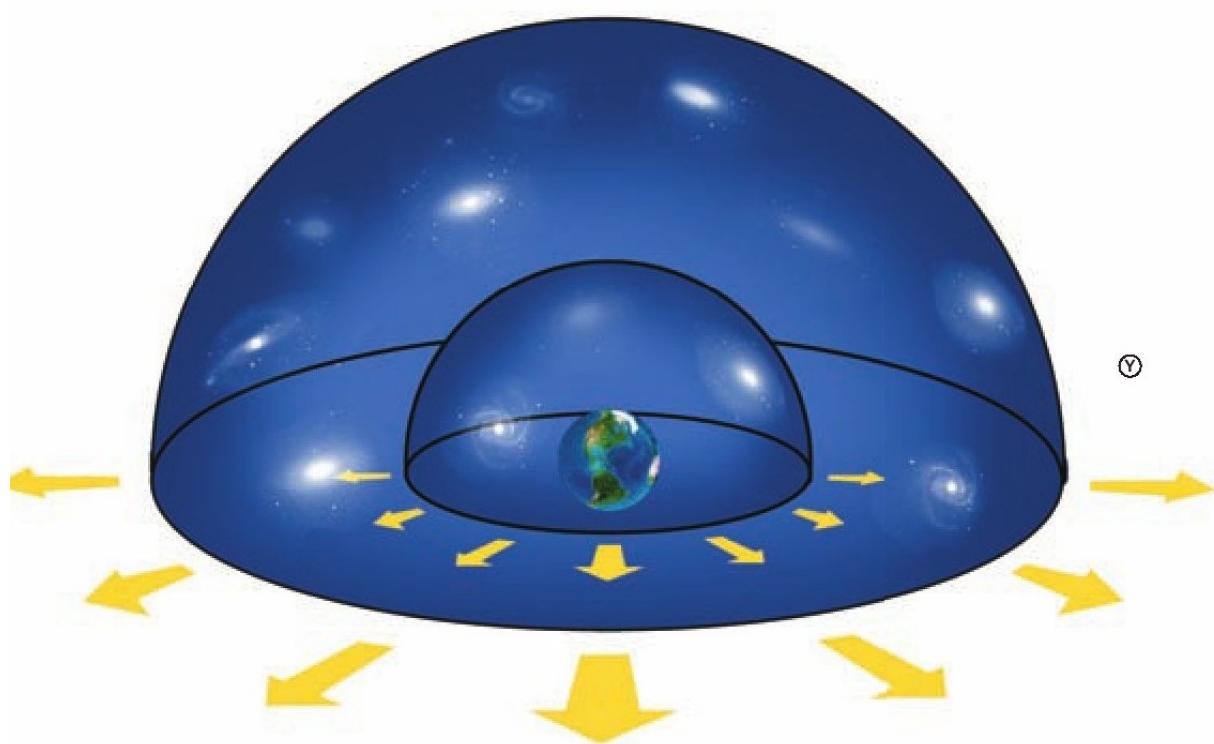
星系团的红移

20世纪初，天文分光技术日趋成熟，使得用多普勒效应测量天体视向速度的能力不断提高。从1912年开始，美国天文学家斯莱弗用洛厄尔天文台61厘米口径望远镜上的摄谱仪，率先获得20多个星云的光谱。从吸收线的多普勒红移推算出这些星云正以数百千米每秒的速度远离观测者而去。1924年，哈勃借助造父变星周光关系测距法确认，仙女座大星云其实远远处于银河系之外。1929年，哈勃又确认了24个银河系外的星系。他发现这些河外星系的谱线红移同它们与地球的距离存在着简单的正比关系。星系的这种速度-距离关系，就是著名的哈勃定律。

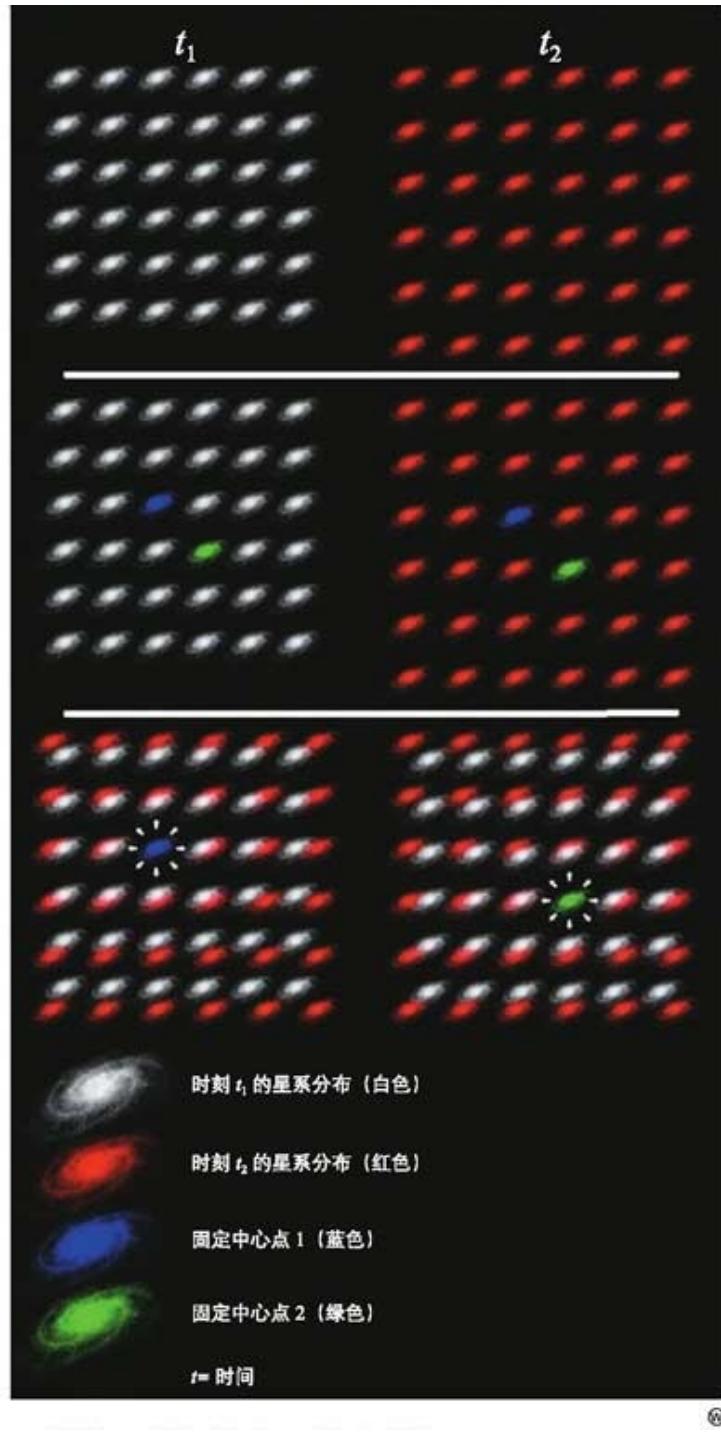
哈勃于1929年3月发表的首次研究结果所得的星系速度-距离关系尚不十分明晰。到1935年，他和合作者赫马森已测定了约150个星系的视向速度，其中有的星系视向速度达到42000千米/秒（约达光速的 $1/7$ ），而速度-距离成正比的关系依然成立。

在观测方面取得上述巨大成就的同时，理论方面也有了许多进展。早先，科学家大多认为宇宙是静止的，连爱因斯坦也不例外。1917年，爱因斯坦使用他的引力场方程讨论宇宙模型的时候，发现他描述的宇宙在引力作用下并不能静止，稍有扰动就会膨胀或坍缩。爱因斯坦认为这样一种变化的宇宙是不可能的，因此在他的方程中人为添加了一个宇宙学常数项，以此提供一种斥力来和引力抗衡，让宇宙保持静止。

不过，还是有一些科学家勇于突破既有观念的束缚。1922年，俄罗斯数学家弗里德曼首次论证了宇宙膨胀的可能性。1927年，比利时主教、天文学家勒梅特提出均匀各向同性的膨胀宇宙模型。根据这个宇宙模型，由于空间的膨胀，四面八方的天体会远离我们而去，并且退行速度应该与天体和我们间的距离成正比。这正是哈勃定律所描述的速度-距离关系。这样，人们就从观测和理论两个方面基本上确认了整个宇宙正在膨胀。（邹振隆）



宇宙膨胀示意图。按照哈勃定律，距离越远的星系以越快的速度退行



“平凡原理”示意图：以固定中心点1为原点，发现周围星系离点1远去；以固定中心点2为原点，同样发现周围星系离点2远去

宇宙的膨胀有中心吗

天文学家据以判断宇宙膨胀的观测是在地球上进行的，由此看到四面八方的星系都在远离我们而去。那是不是像节日燃放的礼花从一点炸开那样，意味着地球处于膨胀宇宙的中心呢？

自从哥白尼日心说取得胜利以后，地球是宇宙中心的观点早已风光不再。现代天文观测表明，我们的太阳只是处于银河系外围的一颗十分普通的恒星，而银河系也不过是宇宙间千亿星系中毫不出众的一员。一切迹象都支持人们所称的“平凡原理”，又称哥白尼原理，即人类在宇宙中并不处于任何特别的地位。宇宙是没有中心的，一定要说有中心的话，那就处处都是中心。如果其他星系存在智慧生命，那么他们也会发现周围的星系，包括人类所在的银河系，正在远离他们而去，也同样会得出宇宙正在膨胀的结论。这是因为宇宙膨胀并不像礼花爆炸那样有一个中心（礼花爆炸的中心就是炸点），而是像均匀吹胀的气球表面那样，每个地方都是膨胀的中心。为了便于理解，我们可以在气球上画上若干彩色的点，把每个点看作一个星系。当气球被吹胀时，每个点都会看到邻居离自己而去，而且正如哈勃观测到的星系那样，距离自己越远的点，远离的速度越快。也就是说，每个点都可以看作膨胀球面的中心。有人会问，气球的中心难道不就是膨胀中心吗？这里要指出，那只是球面的曲率中心而已，在用二维球面所作的这个比喻中，它已经不属于代表宇宙的这个球面了。为了避免误解，我们不妨把气球改为一张曲率半径无限大（即平的）橡皮膜（最近的观测表明，实际宇宙更接近这种情况），将它四面拉伸时，上述现象仍然成立，而所有的膨胀中心却都在平面之内了。为了简单起见，我们甚至可以把二维的橡皮膜改为一维的橡皮筋。你可以亲自做实验试一试，看上面所有的结论是不是还成立。（邹振隆）

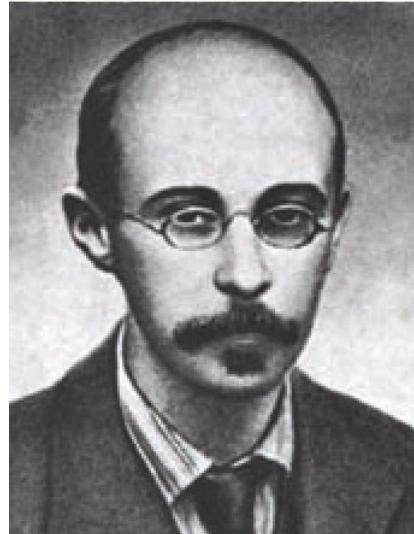
【科学人】弗里德曼

亚历山大·弗里德曼（1888—1925），俄罗斯数学家、气象学家。他成功地对复杂难缠的广义相对论方程组进行简化，第一次找到了包含物质的膨胀宇宙解。可惜的是，弗里德曼年仅37岁就因斑疹伤寒去世。他认为宇宙正在膨胀；宇宙的物质是均匀分布的，从任何方向看去都一样。在他之

后，勒梅特、罗伯逊和沃克又分别发展了弗里德曼的工作。直到现在，理论宇宙学家的研究仍然要用到弗里德曼简化的方程和得出的解。为了纪念他，人们把描述宇宙几何的方程组叫作弗里德曼方程组。

【微问题】宇宙膨胀的速度一直不变吗？

【关键词】宇宙膨胀 哈勃定律 哥白尼原理



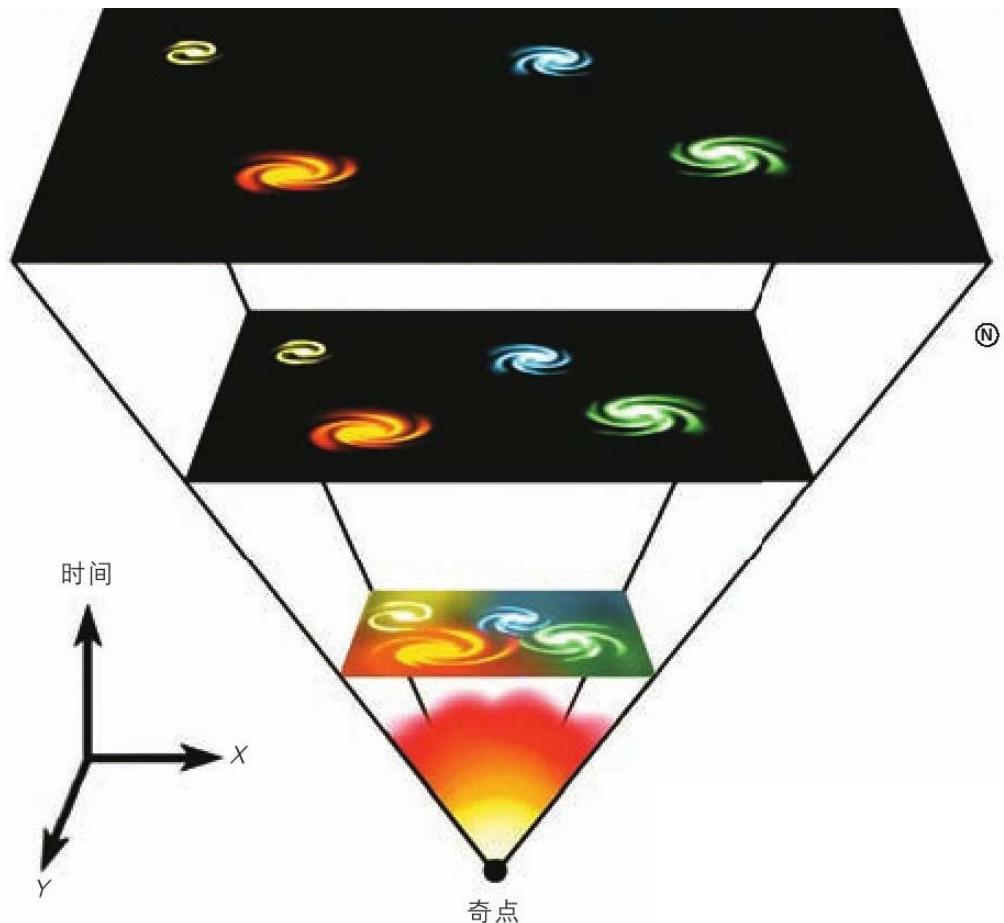
◎W

为什么说宇宙始于一次大爆炸

1929年，美国天文学家哈勃发现了“星系距离与退行速度成正比”的哈勃定律。原来，浩瀚的宇宙居然不是静止的，而是膨胀的，这成了20世纪最伟大的天文发现。

既然宇宙在膨胀、变大，那么，如果我们把时间倒退回去，可以想象宇宙过去一定比现在小，而且回顾得越久，宇宙也越小。最初的宇宙一定聚集在一个非常小的体积内，宇宙就是从那个时候诞生的。

从哈勃的发现联想到宇宙的诞生，似乎很简单，实际上却需要勇敢者的大胆跨越。第一个勇敢者是比利时的天文学家勒梅特。1932年，勒梅特第一个提出了宇宙起源学说：宇宙最初是个很小的原初原子，经过不断的裂变，形成了今天宇宙中的元素，而裂变能则成为宇宙膨胀的能源。勒梅特甚至夸张地引述康德的话：“给我一个原子，我将用它创造出一个宇宙。”勒梅特的思想深深影响了当时在哥本哈根的一位年轻博士伽莫夫。伽莫夫舍弃了勒梅特关于宇宙原子裂变的思想，而猜想宇宙早期一定经历过一个高温和高密的演化阶段。伽莫夫猜想那时的物质是一团中子气体，宇宙的快速膨胀使其迅速冷却，当宇宙温度下降到10亿开时，开始了中子先衰变为质子而后又被质子俘获形成氘核的过程，俘获中子的过程会继续下去，并经过聚变而形成氦以及其他轻元素。1946年，伽莫夫发表论文“膨胀宇宙和元素的起源”，勾画了他的宇宙图景。他的学生阿尔弗原先从事星系形成的研究，在伽莫夫的建议下也转而研究这个课题。1948年的愚人节，他们以阿尔弗、贝特和伽莫夫三人的名义发表了“化学元素起源”一文，即著名的“ $\alpha\beta\gamma$ 论文”。 α 、 β 、 γ 是三位作者名字的谐音，同时也是希腊文的头三个字母，象征宇宙的起源。



从膨胀的宇宙往回追溯，会发现它始于一个奇点

伽莫夫的理论遭到当时的另一种学说——稳恒态宇宙说的激烈反对。稳恒态宇宙理论是静止宇宙的变种，它虽然承认宇宙膨胀，但是认为宇宙的物质密度不变。为了弥补物质密度的稀疏，稳恒态宇宙论认为物质会源源不断地从虚无中产生。英国天文学家霍伊尔、戈尔德和邦迪等是当年该理论的主要卫士。在他们眼中，伽莫夫学说根本不算是理论。霍伊尔在一次演讲中讥笑它为“砰”的一声巨大爆炸，却不料从此“大爆炸”一词走红，成为伽莫夫宇宙起源说的佳称。

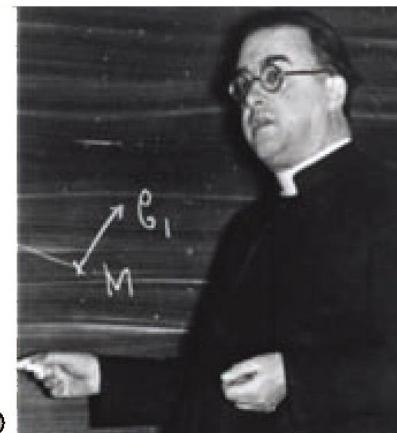
两种学说之间的争论一直持续到20世纪60年代。随着宇宙膨胀、宇宙轻元素丰度和宇宙微波背景辐射三大观测支柱的相继发现，大爆炸宇宙论终于战胜稳恒态宇宙论，成为当今宇宙起源的基本理论。（傅承启）

【科学人】勒梅特

乔治·勒梅特（1894—1966），比利时神父兼宇宙学家，曾师从爱丁顿，后赴哈佛大学师从沙普利，1927年获哈佛大学博士。他是提出宇宙大爆炸假说的第一人，而且早在1927年就求得了爱因斯坦场方程的膨胀解。

【科学人】伽莫夫

乔治·伽莫夫（1904—1968），美国俄裔物理学家，1928年列宁格勒大学物理学博士，1934年移居美国。早期从事核物理研究，20世纪30年代后期转向天体物理学和宇宙学，50年代以后，又转向DNA的研究。除宇宙大爆炸理论外，伽莫夫对核物理学和分子生物学也有重大建树。他还是一位杰出的科普作家，最著名的科普作品有《从一到无穷大》、《物理世界奇遇记》等。



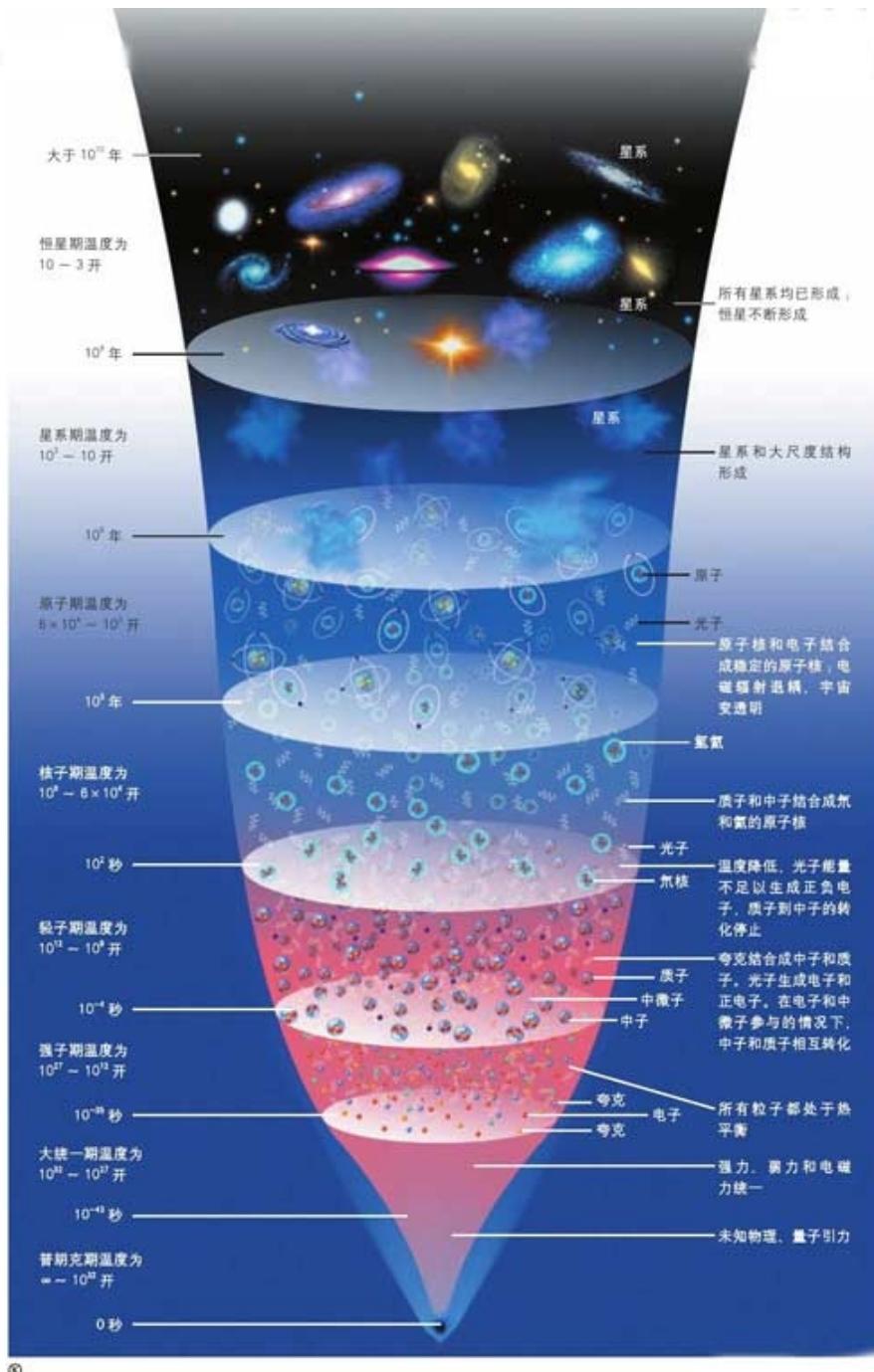
为什么宇宙中最多的元素是氢和氦

氢与氦是宇宙中最多的两种元素，不管你向什么方向观测，都会发现星际介质中氢元素大致占 $3/4$ ，氦约占 $1/4$ ，而比氦更重的元素加起来只有1%左右。这样的比例难道只是一种偶然吗？还是有更深刻的原因？

大爆炸宇宙论的奠基人伽莫夫解开了这个谜题。原来，宇宙大爆炸刚开始几秒钟之内，宇宙中充满了光子、电子、质子、中子等基本粒子。那时宇宙的温度超过100亿开，在正负电子和中微子媒介下，质子和中子处于热平衡的状态，不断地互相转变为对方，它们的数量随宇宙的温度而变化。但是当温度下降到100亿开以下时，正负电子发生湮灭而大量消失，致使质子和中子失去热平衡，不再相互转变，结果它们的数量也就始终维持

在宇宙温度为100亿开时的比例上，中子与质子的数量比大约为1:7。当大爆炸发生3分钟左右，宇宙温度下降到10亿开时，质子和中子开始聚变成氘核，并发生进一步聚变，最终形成稳定的氦核，以及极少量的锂、铍等轻元素。因为中子的数量少于质子，所以当聚变反应将中子全用完后，氦核的合成过程也告结束。这个反应的发生时间为宇宙大爆炸之后3分钟到1小时。反应结束后还剩下大量的质子，也就是氢核。考虑到每生成一个氦核要消耗2个质子和2个中子，简单的计算就可得出，反应结束后氦的丰度为 $1/4$ ，氢的丰度为 $3/4$ 。这就是今天在宇宙中看到的两种主要元素的丰度。

（傅承启）



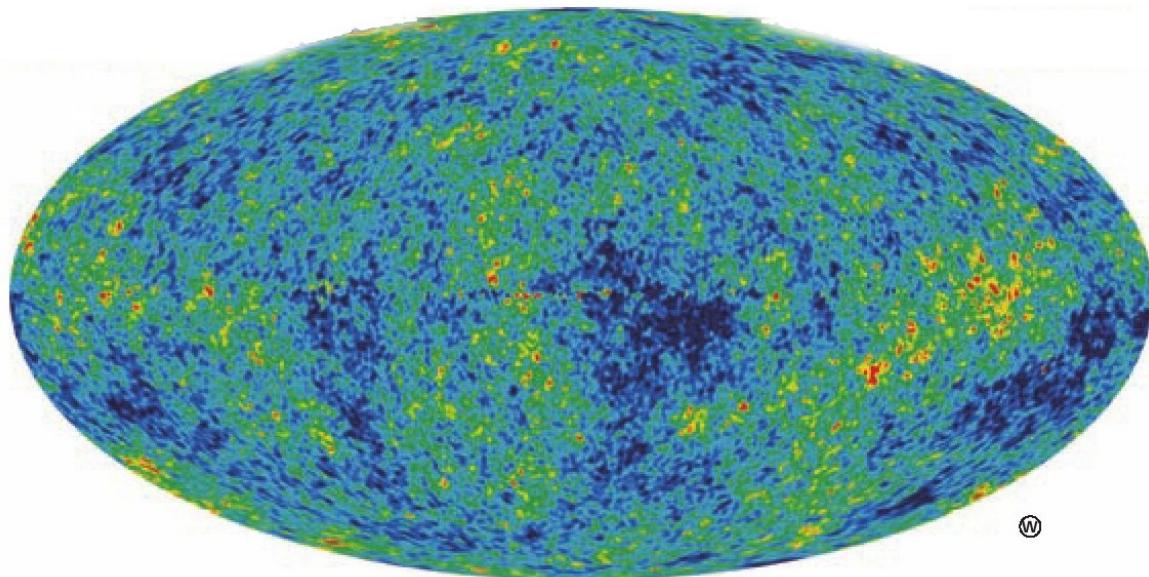
宇宙演化示意图

【微问题】为什么宇宙不是稳定不变的？

【关键词】大爆炸宇宙论 稳恒态宇宙论

为什么天空中每个方向都有微波背景辐射

1964年，美国贝尔实验室的两位青年科学家彭齐亚斯和威尔逊打算把该实验室一台曾用于卫星通信实验的微波天线改造成射电望远镜。他们对改造后的设备进行一系列测试，在测试中意外地发现，总有一种多余的“噪声”无法消除。最初，他们怀疑这是仪器本身的问题，但进行了大量检查和实验（包括清除了在天线上做窝的一对鸽子和它们留下的粪便）后，他们确认仪器本身并没有问题，这一噪声确实是由于天线接收到的微波辐射引起的。而且这一噪声的大小与天线所指的方向没有关系，任何方向都有这种微波辐射而且强度相同。这是非常奇怪的，因为无论是人类产生的微波辐射，还是太阳、恒星、银河系等天体产生的辐射，都来自特定的方向，不可能处处都有同样的强度。

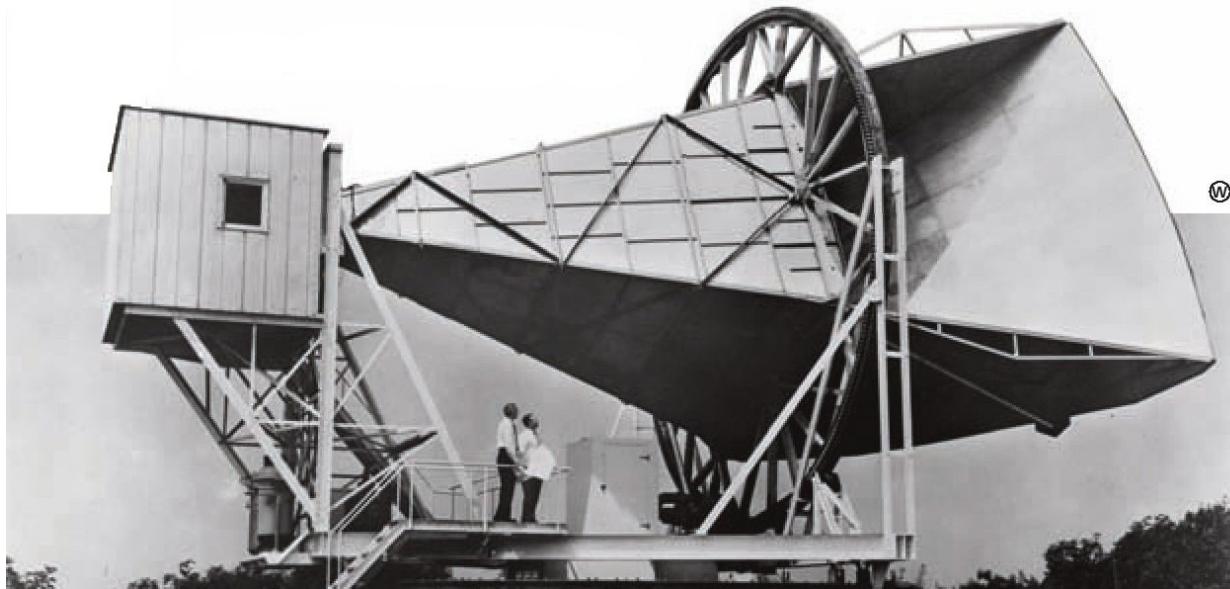


WMAP卫星在2012年测得的宇宙微波背景辐射图，红色代表温度较高，蓝色代表温度较低

正当他们为无法解释这一现象而苦恼时，彭齐亚斯在一次出差时偶然遇到了麻省理工学院的伯克教授。伯克教授告诉他，普林斯顿大学的迪克和皮伯斯有一种理论可以解释他们观测到的现象。迪克和皮伯斯研究过宇宙大爆炸理论。大爆炸理论预言宇宙早期的时候温度应该非常高，这时宇宙中应该有许多光子。宇宙在不断膨胀，这些大爆炸早期的光子需要走过

漫长的路程才能来到今天的地球。从地球上看来，这些光子是从距离非常远的一个球壳发出来的。根据哈勃定律的距离-红移关系，这些非常遥远处发出的光子红移应该非常大，以至于它们会被拉长到微波波段。由于宇宙是均匀的，因此各个方向的辐射强度也应该处处基本相等，这被称为宇宙微波背景辐射。

其实，早在迪克和皮伯斯之前，伽莫夫同他的学生阿尔弗和赫尔曼也曾经在理论研究中预言了这一现象，但是他们没有想到这一辐射可以被探测到，而他们的研究结果也被人遗忘了。彭齐亚斯和威尔逊发表了他们的观测结果，迪克和皮伯斯也同时发表了其理论解释。彭齐亚斯和威尔逊因发现宇宙微波背景辐射而荣获了1978年度诺贝尔物理学奖。（陈学雷）



彭齐亚斯和威尔逊与他们的微波天线

【科学人】彭齐亚斯

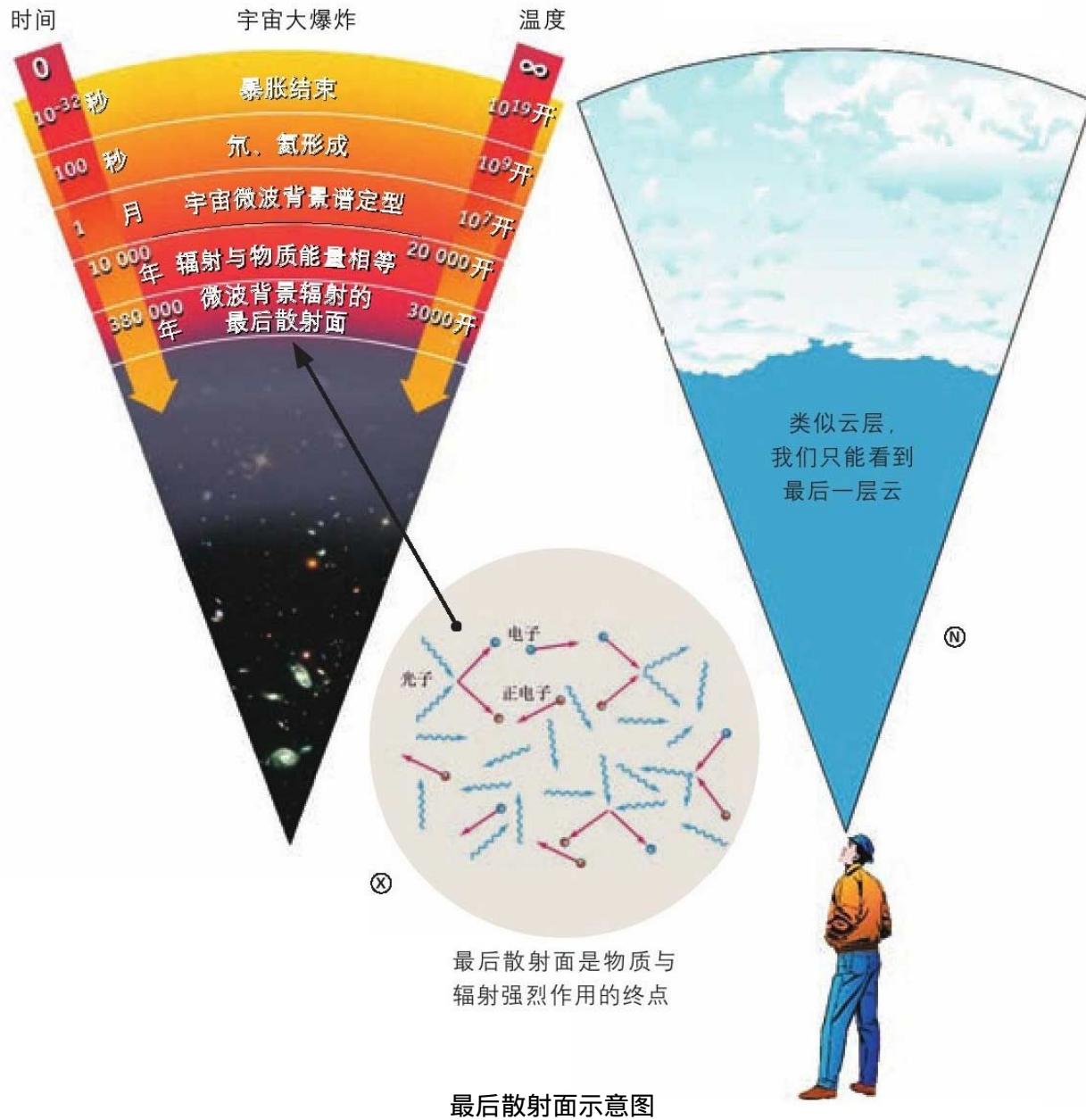
阿诺·彭齐亚斯（1933—）是生于德国的犹太人，后移居美国，在贝尔实验室工作期间与威尔逊一起发现了宇宙微波背景辐射，并因此获得1978年诺贝尔物理学奖。彭齐亚斯还用贝尔实验室的望远镜进行7厘米和21厘米波长巡天，并开展对星际分子谱线的研究，首次在星云中发现了氘分子。

【科学人】威尔逊

罗伯特·威尔逊（1936—）生于美国休斯敦，毕业于莱斯大学，在加州理工学院获得博士学位。此后他到贝尔实验室工作，在那里与彭齐亚斯一起发现了宇宙微波背景辐射，并因此获得1978年诺贝尔物理学奖。后来他主要研究毫米波天文学及星际分子谱线等。

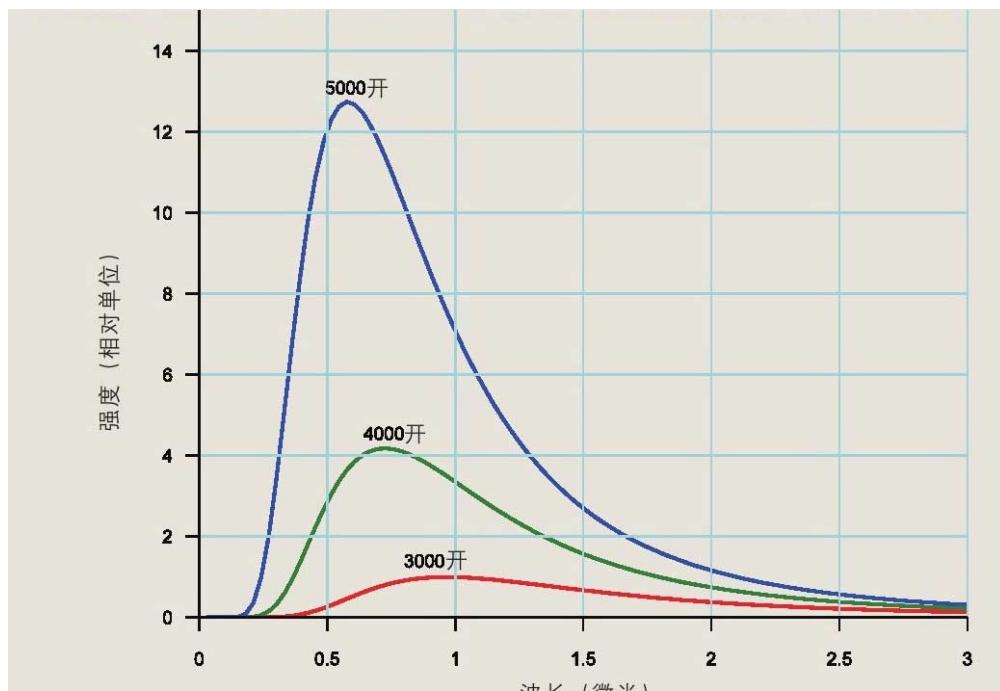
为什么能断定微波背景辐射来自宇宙大爆炸

大爆炸理论断言，在宇宙诞生初期，宇宙中的光辐射具有一种特定的能量分布，称为“黑体辐射”。黑体辐射是物质吸收和产生电磁辐射的理想情况。如果某种物质能够吸收照射在它上面的全部辐射，而不产生透射和反射，就被称为黑体。例如，在常温下黑炭、煤烟等物质能吸收几乎全部可见光，因此呈现黑色，可以近似地看作理想黑体。黑体不仅吸收光子，本身也可以辐射各种不同能量的光子，其辐射的光子能量分布与黑体的温度有关。德国科学家普朗克在假定辐射具有量子性的情况下，从理论上推导出了理想黑体产生的辐射能谱。宇宙诞生初期的辐射就应是极高温时的黑体辐射。

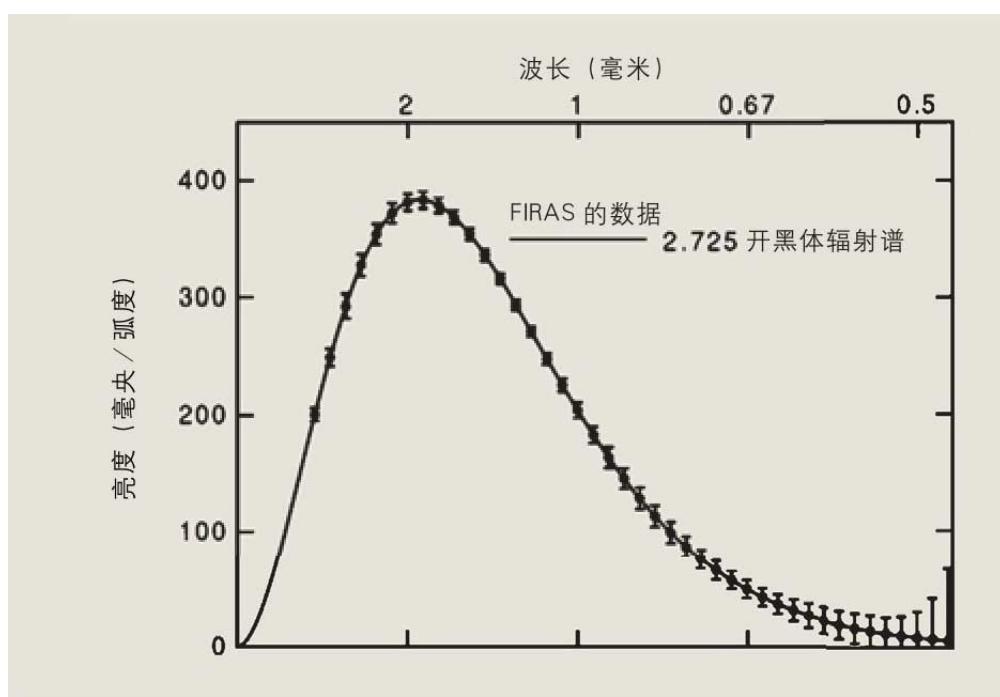


大爆炸后，宇宙不断膨胀冷却，但宇宙早期黑体辐射的能量分布模式却保留了下来，在今天依然是黑体辐射能谱，只是辐射能谱的特征从高温黑体谱变成了低温黑体谱，最大亮度处的波长移到了微波波段。1989年发射升空的COBE卫星通过远红外线游离光谱仪（FIRAS）的实验，精确测定了宇宙微波背景辐射的能谱，证实其确实是非常理想的黑体谱。如果宇宙微波背景辐射不是来自宇宙大爆炸，而是（比如说）由于大量恒星产生的辐射被尘埃吸收后再以微波的形式辐射出来，那么它就不可能如此精确地

呈现出黑体辐射谱。因此可以断定微波背景辐射来自宇宙大爆炸，这也是宇宙大爆炸的又一个证据。由于这一成就，FIRAS的负责人约翰·马瑟荣获2006年度诺贝尔物理学奖。（陈学雷）



① 不同温度的黑体谱



②

COBE卫星测量的宇宙微波背景辐射能谱

【微博士】最后散射面

仰望多云的天空，你看到的是什么？是离你最近的那层云。在这层云之上的光线是无法直接到达地面的，必须经过与云层中粒子的多次碰撞（散射），才能进入眼睛。所以这层云的底部可以称为“最后散射面”。宇宙也有一个“最后散射面”，形成于大爆炸之后约38万年。在这个最后散射面之前的宇宙中，可与光子发生碰撞的粒子密度很高，光子无法自由穿行。到了最后散射面，宇宙中与光子发生碰撞的粒子密度陡然下降，宇宙变得透明，光子就可以直接被我们看到了。后来，这些光子就形成了宇宙的微波背景辐射。

【微问题】微波背景辐射能用家用电器接收到吗？

【关键词】微波背景辐射 黑体辐射谱 最后散射面

到达宇宙边缘，能把“手”伸出去吗



一位佚名艺术家的木刻“探索更外面的宇宙”



如果能来到宇宙边缘，那就一定可以把“手”伸出去，问题在于宇宙有没有边缘呢？答案是否定的！也就是说，宇宙是没有边界的。

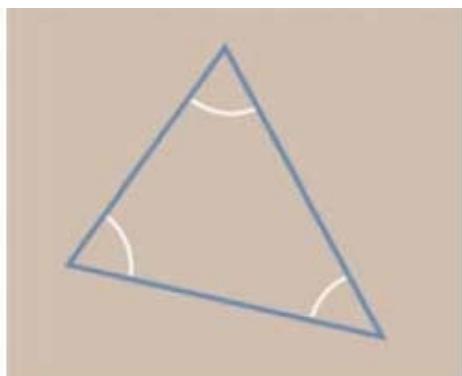
为什么说宇宙是无边的呢？因为宇宙是空间、时间和时空中万物的总称，所以宇宙和普通物体有本质的区别。对于普通的物体，我们需要知道它的边界，来区分是或者不是该物体，是在它的内部还是外部。而宇宙就不同了，宇宙是唯一的，没有宇宙和非宇宙之分，宇宙只有“内”，没有“外”，宇宙的边界也就无从说起。

无边的宇宙会是什么样子的呢？

在20世纪以前，人们普遍接受的是牛顿的静态宇宙观：时间、空间和宇宙中的物体都是独立存在的。空间是平坦的，在各个方向上无限延伸，时间则无始无终地流淌。这样的宇宙是无限的，没有边界是很自然的事情。

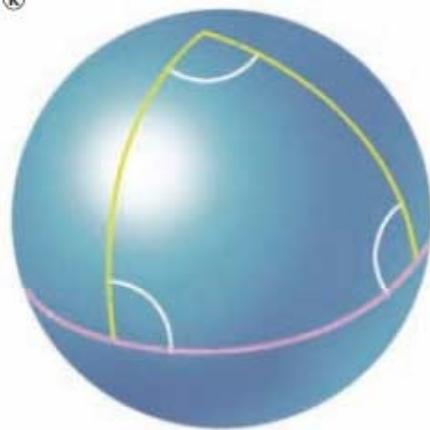
直到1915年，爱因斯坦提出了广义相对论，人们才认识到时间、空间和物质是紧密联系在一起的。如果一个物体有质量，就会导致其周围时空的弯曲。时空的弯曲又会反过来影响到其他物体的运动。这种影响，按牛顿力学来理解，就是引力作用。

那么，我们的宇宙是怎样的呢？因为无法直观地表示三维空间是怎样弯曲的，所以只能简化地用二维的表面来类比：如果宇宙物质足够稀疏，物质和能量的平均密度很低，那么空间的弯曲就像是“马鞍面”；反之，如果宇宙中的物质足够密，那么空间的弯曲就像“球面”。“马鞍面”是一个开放的曲面，可以无限延伸；而球面是一个闭合的曲面，其面积是有限的。这就意味着，如果宇宙物质足够密，我们就是处在一个有限的空间里。



平直空间：三角形内角和等于 180°

④



球面：三角形内角和大于 180°



马鞍面：三角形内角和小于 180°

用三角形内角之和判定空间的性质

如果空间有限，是不是一定就有边界？其实不然，有限的空间也可以是无边的。这怎么理解呢？爱因斯坦曾经举过一个生动的例子：假想一个被无限压扁了的二维的虫子，生活在二维的球面上。球面的面积是有限的，虫子可以到处爬，也可以绕一圈爬回原地，但就是找不到边。实际情

况当然要复杂得多，但这种类比有助于理解什么是“有限”而“无边”。



二维球面就是一个面积有限但无边界的例子

目前的观测与研究表明，我们的宇宙很可能是介于疏和密的临界状态，所以有可能是平坦的。但不管怎样，无论宇宙是有限的还是无限的，它都是无边的。在天文学和物理学中还有一个狭义的宇宙的定义，那就是“可观测宇宙”。现代宇宙学的研究告诉我们，宇宙的年龄是有限的，它起源于138亿年以前的“大爆炸”。由于光的传播速度是有限的，所以我们在

宇宙中能看到的最远距离就是光速乘以宇宙的年龄。更远地方发出的光还没有足够的时间“跑到”我们这里，我们看不见。这个观测上的极限称为宇宙视界。视界范围内的宇宙就是我们的可观测宇宙。

视界是不是宇宙的边界呢？如果我们有能力跑到视界那么遥远的地方，会看到怎样的景象呢？还是让我们打个比方吧：这就像是在孤岛上瞭望四周的大海，我们的目力所及是有极限的，最近所能看到的地方就是地平线（英文中“视界”和“地平线”是同一个词horizon）。如果我们在接近地平线的地方发现有一条船，这就像在宇宙中找到了一个极其遥远的星系。船上的人会看到什么呢？不难想象，船上的人根本不会觉得自己处在什么边缘的地方，他的四周也一样都是茫茫大海，他可能发现在某个方向的地平线处有个小岛，岛上有人正向他极目眺望。所以，所谓的视界是针对特定的观测者而言的，并不是我们通常意义上的边界。不同地方的观测者有不同的视界，视界就是以观测者为中心的各个方向的观测极限。由此，我们可以认识一个有趣的现象，无论我们在宇宙中旅行到了哪里，都会感觉自己身处宇宙的中心！（邵正义）

【微博士】短程线

也叫测地线，可理解为空间中连接两点的局部最短路径。在平面上，短程线就是普通的一段直线。在球面上，短程线是穿过整个球面的大圆弧的一段。在球面上，由短程线构成的球面三角形的内角和大于 180° 。而在马鞍面上，对应的三角形内角和则小于 180° 。我们可以通过测量三角形的内角和，来判断自己所在的空间是开放的还是闭合的。

为什么夜空是黑的

太阳下山，黑夜来临，这似乎是个无须解释的事实。但是，夜空为什么就是黑的呢？假如宇宙是无限的，那么无限大的空间和无限长的岁月里就会有无限多的星星，不论向什么方向看，我们的视线最终都将落到某颗

星星的表面上。因此，夜空不应是黑的，而是应该像星星那样明亮。事实上，夜空却是完全黑的，与我们的假想背道而驰。据说，早在16世纪就有人提出了类似的疑问，到1823年，德国天文学家奥伯斯再次完整地提出这个问题，后人将它称为“奥伯斯佯谬”。人们想了很多种解释来回答这个问题。有人说，那是因为星星太远的缘故。但是宇宙中有无限多的星星，无限多暗弱星光的总和就可与近在咫尺的太阳一样明亮。又有人说，那是因为星光在传播途中被星云吸收掉了。但仔细一想问题又来了：吸收星光的星云会慢慢变热，在无限长的岁月里最后将与恒星表面一样灼热。奥伯斯佯谬就这样困扰了人类很多年。

随着宇宙膨胀的发现，奥伯斯佯谬才得以真相大白。原来，宇宙的年龄是有限的，而光速也是有限的。因此，我们今天能看到的最远的光就是百亿光年之外从宇宙诞生之初发射出来的光子。这个范围称为视界。在视界之外发出的光子目前是无法到达我们的，因此我们能看到的星并不是无限多，而是有限的。于是夜空自然也是黑的了。（傅承启）



虽然宇宙中有许多吸收星光的尘埃，但它们也会被加热而发光

【微问题】宇宙中有没有物体相对地球的运动速度超过光速？

【关键词】可观测宇宙 宇宙视界 奥伯斯佯谬 短程线

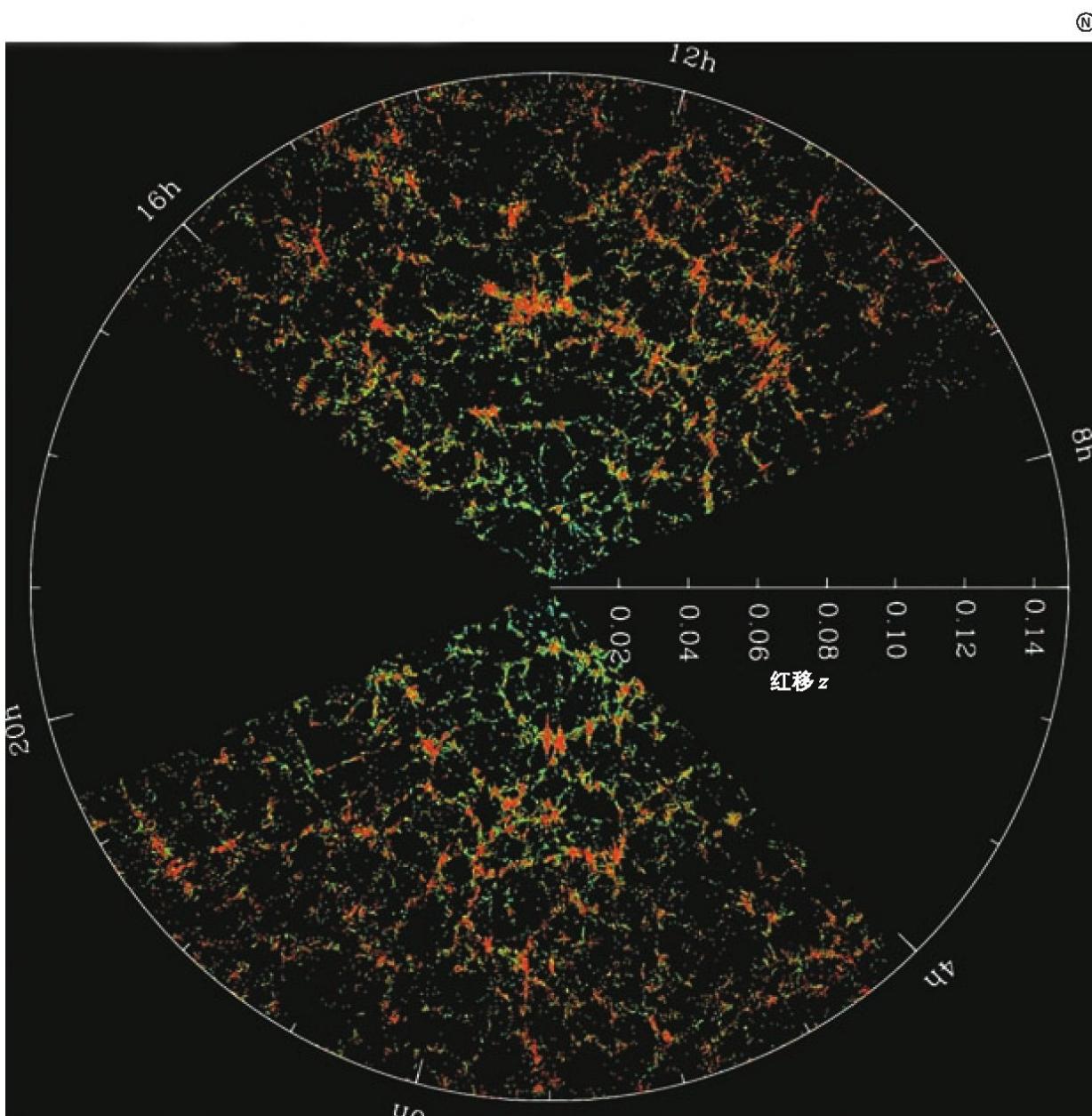
为什么说物质在宇宙空间中不是均匀分布的

我们所在的地球是太阳系中的一个行星，太阳是银河系中的一个普通恒星，而银河系也不过是宇宙中千亿个星系中的一员。那么，这些星系以及物质在更大尺度上又是如何分布的呢？一个比较自然的想法是，宇宙中的各个地方应该是平等的，到处都分布着星系，没有哪个点是特殊的，在足够大的尺度上，物质可以说是均匀分布的。因为哥白尼日心说把地球降到一个普通行星的地位，打破了把地球放在宇宙中心的传统，所以这一“宇宙中处处平等”的思想被称为“哥白尼原理”或“宇宙学原理”。

但是观测发现，宇宙并不是完全均匀的：有的地方有星系，有的地方没有星系，还有的地方星系特别多，成为星系团。这看起来和“宇宙学原理”相违背，其实并没有。因为星系密集或稀疏的地方并没有什么特殊之处，只是偶然形成的，这称为“随机分布”，可以通过统计的方法加以研究。物质和星系在远大于单个星系的尺度上的非均匀分布，通常称为大尺度结构。

那么，宇宙中的大尺度结构究竟又是什么样子呢？这需要通过实际的天文观测找出答案。这种观测称为巡天观测，也就是系统地观测一大片天空，记录下其中所有星系的位置、亮度和性质，再根据这些数据分析出星系的分布规律。

现代的光学巡天可以分为两种，第一种是通过照相获得天体的像、亮度和在天球上的二维坐标（赤经和赤纬）。例如，在1949-1958年间用帕洛玛山天文台1.2米口径施密特望远镜进行的帕洛玛巡天（POSS），拍摄了赤纬-30°以北的天空。这一巡天观测的最暗天体星等为22等。但从这种观测中，还不能确定天体到我们的径向距离。

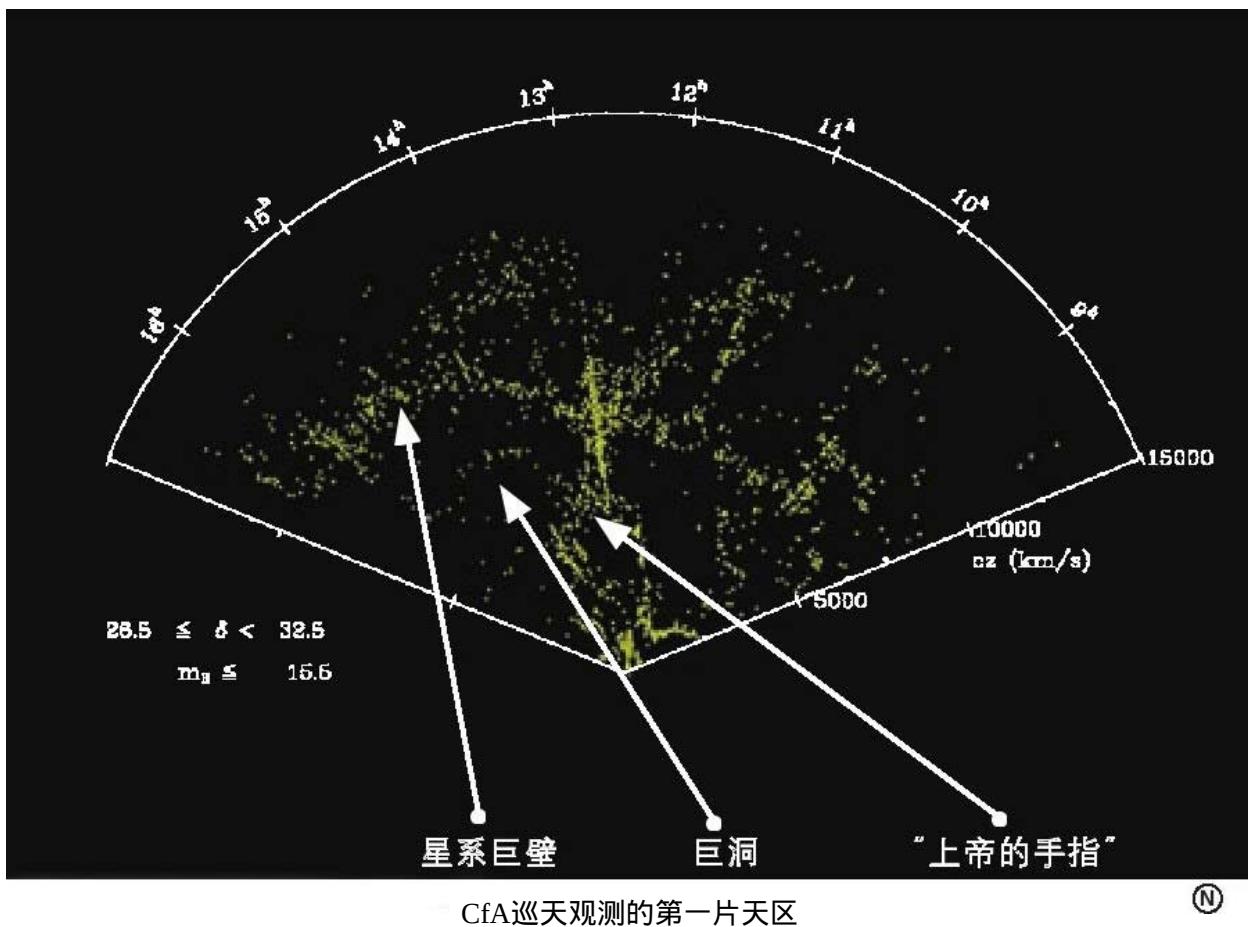


斯隆数字巡天获得的宇宙大尺度结构图示

第二种巡天是在照相巡天的基础上，挑出一些目标拍摄其光谱。这种巡天可以根据星系光谱中一些谱线波长相对于标准波长的变化，确定其红移。距离越远，星系的红移越大，因此可以由红移确定我们和该星系之间的距离，从而给出星系的三维坐标，更好地反映星系的空间分布。不过，光谱观测所需的时间比较长，因此要完成光谱巡天比照相巡天难。20世纪80年代初期，由哈佛大学天体物理中心（CfA）完成的CfA红移巡天第一次

揭示了宇宙的大尺度结构。此后，人们又开展了一系列大尺度结构巡天。迄今为止，最大规模的巡天是美国的斯隆数字巡天（SDSS），该巡天既包括测光巡天，也包括光谱巡天。

CfA巡天观测的第一片天区，有点像一个扇面或切开的一片西瓜。在图上，每个星系用一个点表示，其到扇形端点的距离（径向坐标）与星系的退行速度（等于红移乘光速）成正比，可以直观地显示出这一区域内的大尺度结构。图中可以清晰地看到，星系的分布并不均匀，有一些地方星系形成纤维状或板块形的结构，称为巨壁，绵延几千万光年。还有一些地方则几乎没有星系，形成巨洞。在该图中心部分，还有一个几乎沿径向的结构（有点像一个人形），被称为“上帝的手指”。这实际是一个星系团，团内的星系有相对星系团中心的随机运动，每个星系的速度又不相同，这一速度叠加到宇宙学红移上，就使得本来在空间上密集在一起的星系在红移方向（即沿我们的视线方向）上呈现较大的弥散，从而形成了“上帝的手指”。（陈学雷）

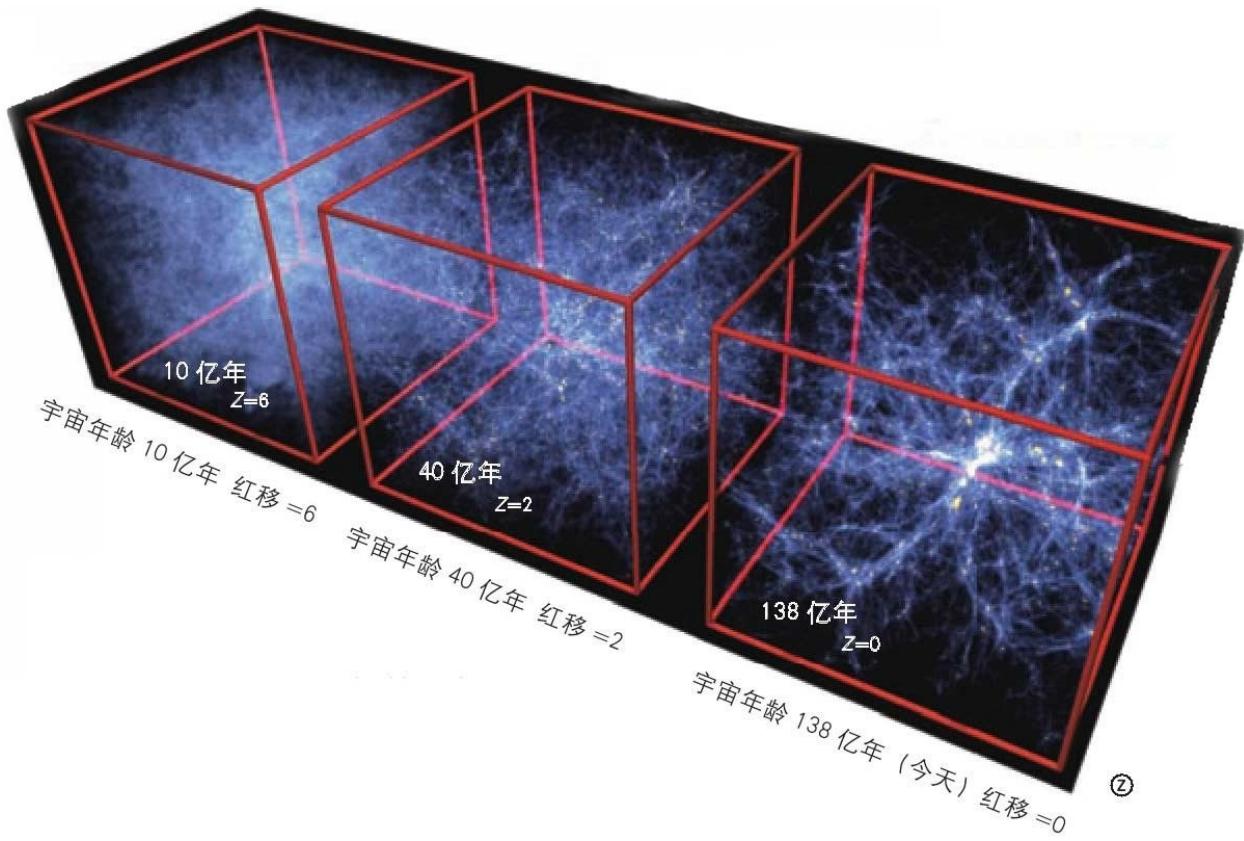


星系和大尺度结构是如何形成的

早期宇宙中物质基本是均匀分布的，但也有一些微小的不均匀性，这有可能是宇宙早期暴胀的结果。在宇宙暴胀之初，由于量子力学的不确定原理，物质在微小尺度上存在密度涨落。在暴胀过程中，空间被拉长到非常大的尺度，这些小尺度上的涨落就成为大尺度结构的涨落。尽管这些不均匀性很小，但万有引力使这些很小的不均匀性逐渐放大：在密度较大的地方，引力较强，会吸引周围的物质，从而进一步增强其密度。

利用万有引力理论，也可以预言密度不均匀性怎样演化。现代的科学家经常使用“数值模拟”方法来进行研究：首先，按照一定的假设，随机产生宇宙某一时刻的物质分布，然后按照万有引力定律计算这些物质如何运

动。此处图中显示了数值模拟的结构形成过程：最左边方盒内，显示了较早时期的宇宙，物质基本均匀分布，仅略有非均匀性。中间方盒是经过一段演化后的情况，而进一步的演化最终导致右边方盒内的情况。在演化中，物质往往首先沿一个或两个方向凝聚，形成一些纤维状结构，然后再沿纤维凝聚到中心交点上，形成团块状的高密度区。由于宇宙中暗物质的数量是普通物质的5倍左右，所以这些引力凝聚的团块可以称为暗物质晕。暗物质晕中的暗物质由于存在运动速度，所以在一定时间内无法进一步收缩，于是形成稳定的自引力体系；而其中的普通物质可以通过辐射光子散热冷却，进一步收缩，形成星系。（陈学雷）



对宇宙物质密度变化的数值模拟



【微博士】斯隆数字巡天 (SDSS)

斯隆数字巡天的设想由美国天文学家吉姆·冈于1990年提出，目标是完成10000平方度天区（约占全天面积的1/4）的5个颜色的测光巡天和100万个星系的光谱红移巡天。为此，在美国新墨西哥州

阿帕奇波因特天文台建造了一台2.5米口径的宽视场专用望远镜，并配备多光纤光谱仪，可同时观测多至1000个目标。到2012年，斯隆数字巡天已观测了相当于8个满月那么大的天区，得到了超过100万个目标的光谱。该巡天目前仍在继续进行。

【微问题】一个地方的物质密度变化造成的引力变化能瞬间传递到远方吗？

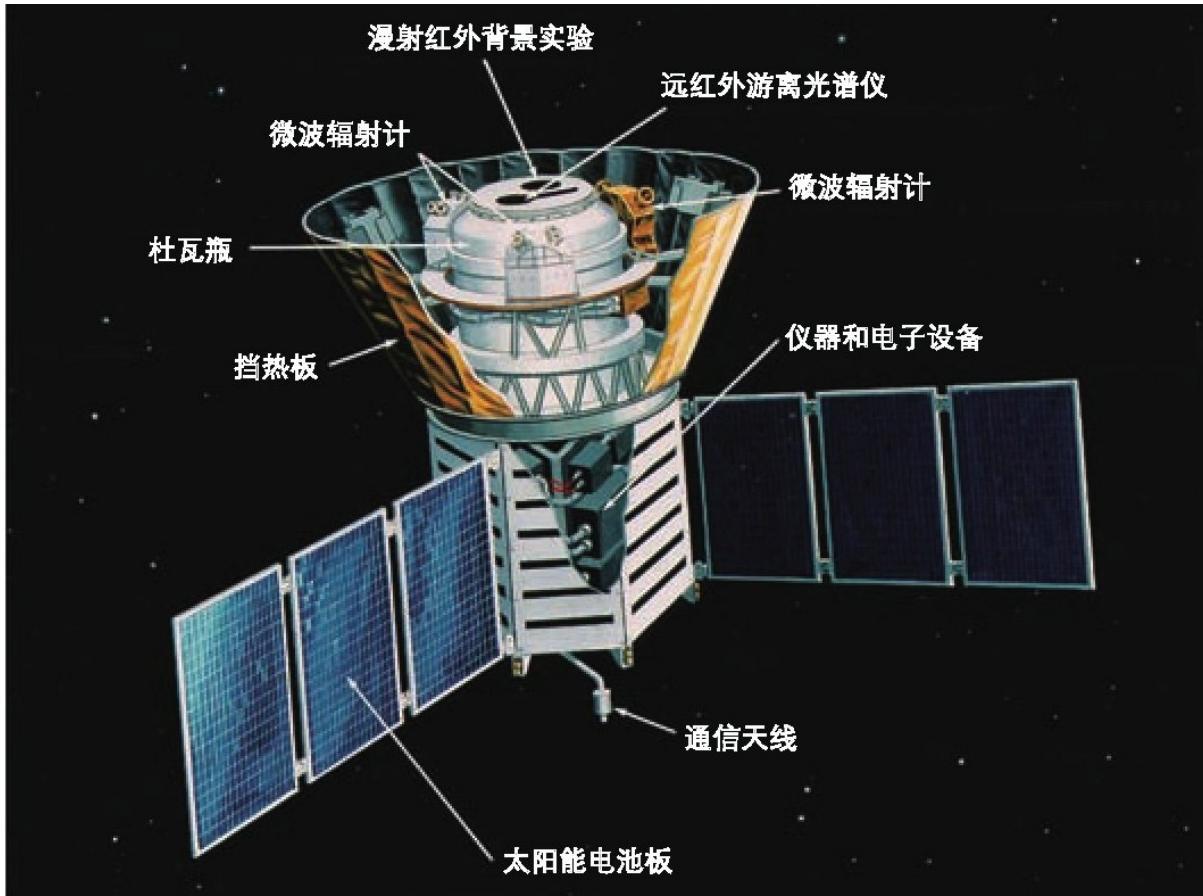
【关键词】宇宙学原理 大尺度结构 密度涨落

为什么科学家能知道早期宇宙的不均匀性

宇宙微波背景辐射发现之初，测量到它的温度大约为3开，与宇宙大爆炸模型的预言十分接近。经过大量的测量，人们发现宇宙微波背景辐射确实具有黑体辐射谱，对应的温度约为2.73开。由此，科学家普遍相信宇宙微波背景辐射就是大爆炸后宇宙早期热平衡状态残留至今的余晖，所以无论朝哪个方向去测量，背景辐射温度都相同。

但是假如宇宙当初是绝对均匀的，那怎么会发展出今天的星系世界呢？因此，宇宙的早期一定有极其微小的不均匀，它是今天星系世界的“种子”。而且，这种不均匀也一定残留在宇宙微波背景辐射之中，所以必须更精确地测量宇宙微波背景辐射。测量出这种不均匀的空间分布，也就知道了星系诞生时的情况。

1989年11月18日，“宇宙背景探测卫星”（COBE）被送上了天，开始了它的太空历程。除了测量宇宙微波背景辐射的能谱和温度以外，它的另一个重要任务就是测量背景辐射的不均匀性，即它的“各向异性”。卫星上有一个仪器，叫“较差微波辐射计”，它有2个喇叭状天线，可以分别对准天空中相差60°的2个地方，然后用无线电较差方法测量它们的温度差。为了把外界干扰减到最小，它选择在银河微波辐射污染最低的频率上工作，卫星也设计成极地轨道，并沿昼夜分界线飞行。为了消除望远镜热发射的影响，望远镜还用液氮、氦4和氦3进行四重制冷，把仪器冷却到0.2开。



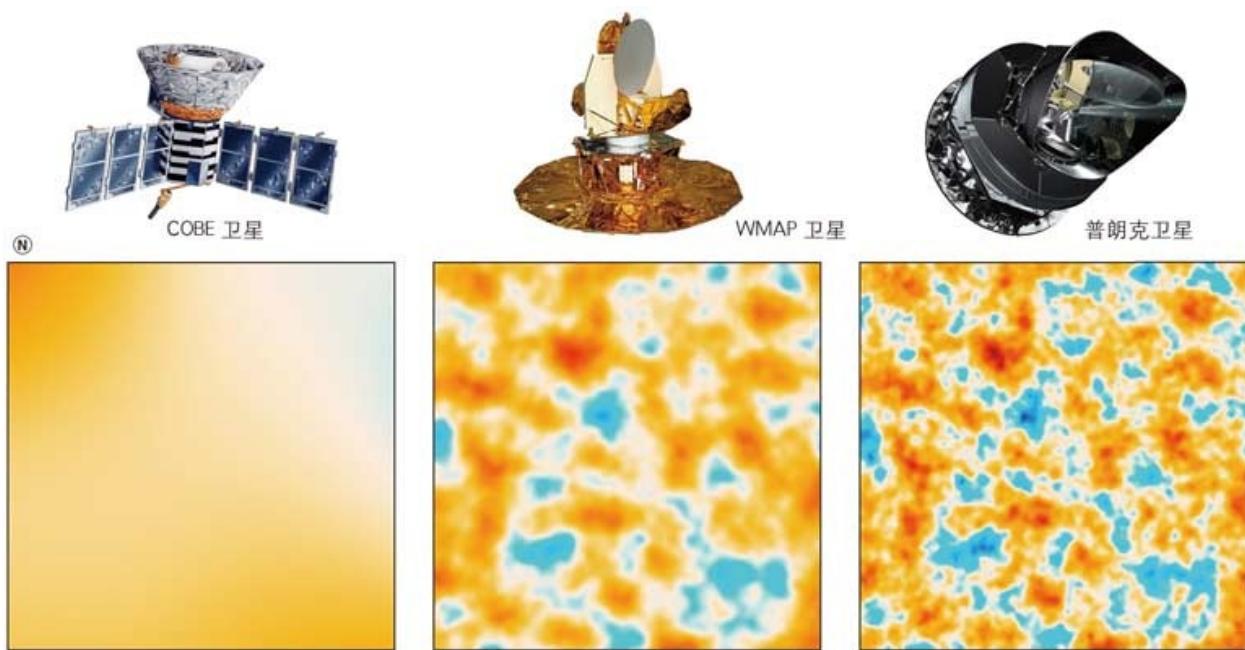
⑩

宇宙背景探测卫星（COBE）结构图

宇宙早期存在微小的各向异性很快得到了证实，观测数据表明在不同的方向上宇宙背景辐射温度有 $1/100000$ 的涨落。不过，科学家非常谨慎，他们继续以高空科学气球和地面为基础开展一系列实验测量。最后各种实验都一致证实了卫星的观测结果。完成卫星实验的两位主要科学家斯穆特和马瑟，也因其出色的工作而荣获2006年度的诺贝尔物理学奖。

“宇宙背景探测卫星”的灵敏度和分辨率还不够高，所以后来的实验都作了改进，特别是分别于2001年和2009年发射的“威尔金森微波各向异性探测卫星”（WMAP）和“普朗克卫星”，性能比“宇宙背景探测卫星”提高了几十倍。因为有更高的分辨率，后来这些实验进一步发现了宇宙背景辐射中残留的宇宙早期不均匀性的遗迹，即早期宇宙中的声波振荡。早期宇宙充满了光子、电子和质子，在高温高密的条件下，它们之间频繁发生碰撞而

处于热平衡状态。电子一方面受到光压并散射光子，另一方面又受到质子的电磁力和引力作用。这些物理过程造成宇宙中辐射和物质的疏密变化——声波振荡。当宇宙诞生38万年时，温度下降到3000开，物质与辐射不再相互作用（这称为退耦），而那一瞬间的辐射疏密变化也就残留在宇宙微波背景辐射之中。这种声波振荡信号对应的视角大约为 1° ，相当于38万年内声波走过的距离。



不同卫星以不同分辨率探测到的宇宙微波背景辐射

除了温度的涨落以外，“威尔金森微波各向异性探测卫星”还发现了宇宙微波背景辐射的偏振。偏振是光子被电子散射而产生的，退耦时同样残留在背景辐射之中。

宇宙微波背景辐射各向异性包含了宇宙早期极丰富的信息，对它的研究成为精确测量宇宙物质密度、宇宙几何形状以及研究宇宙早期演化等的极为重要的手段。（李剑龙）



W

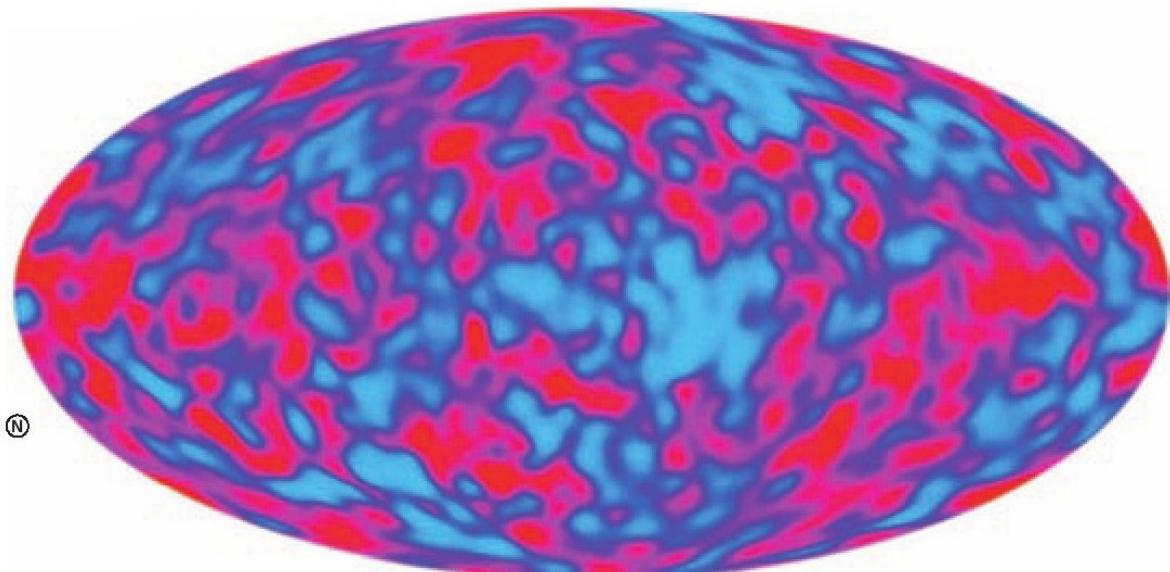


N

乔治·斯穆特（左）和约翰·马瑟（右）

乔治·斯穆特（1945—）和约翰·马瑟（1946—）都是美国的宇宙学家和天体物理学家。斯穆特在1970年获得麻省理工学院粒子物理学博士学位，马瑟在1974年获得加利福尼亚大学伯克利分校物理学博士学位。1974年他们分别向美国航空航天局提出用卫星测量宇宙微波背景辐射及其各向异性的计划，这就是后来的“宇宙微波背景探测卫星”（COBE）。该计划获得了巨大的成功，他们因此获得了2006年度的诺贝尔物理学奖。

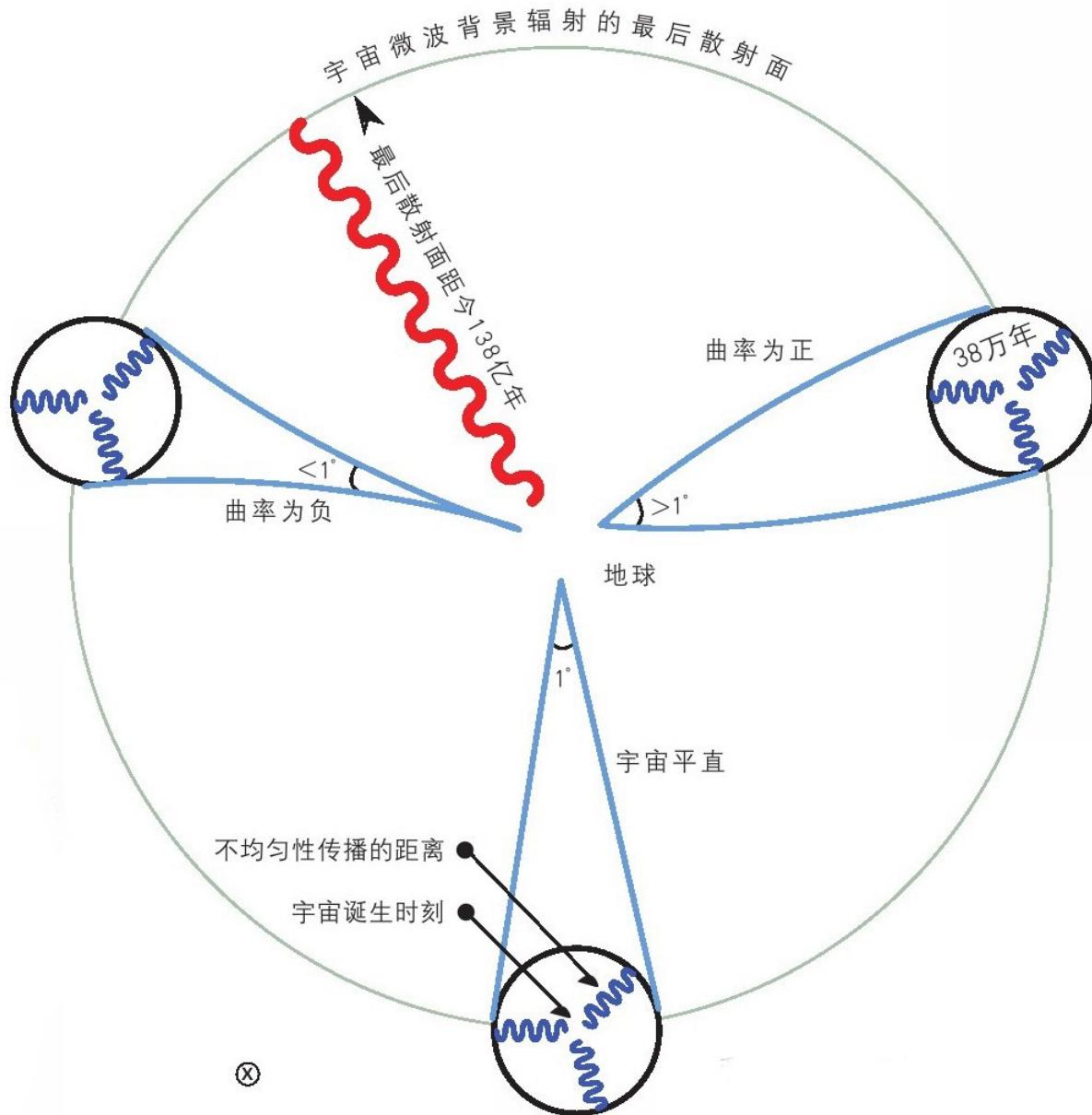
为什么可以利用微波背景辐射测量宇宙的几何形状



COBE卫星观测的宇宙微波背景辐射，首次探测到背景辐射中的各向异性

宇宙微波背景辐射犹如宇宙诞生38万年时的一张快照，它携带了早期宇宙的许多信息。通过理论计算人们发现，原始的不均匀性在38万年里只能传播有限的距离，这段距离在地球上看来的张角有多大呢？这与宇宙空间曲率有关。如果宇宙空间像欧几里得几何那样是平直的话，那么这段距离在天空中所占的角度大约是 1° 。如果这个角度小于 1° ，那就表明宇宙空间像马鞍面一样曲率是负的；如果大于 1° ，那么空间就像球面一样曲率是正的。

从20世纪末到21世纪初，科学家用高空科学气球和卫星对宇宙微波背景辐射进行了大量观测，精度也越来越高。所有的结果都表明，宇宙微波背景辐射存在微小的各向异性，而且在相差 1° 的方向上这种差异最为明显。这正好符合欧几里得几何，说明在目前的测量精度下，宇宙的几何形状是平直的，空间曲率为零。（李剑龙）



利用微波背景辐射测量宇宙几何的原理

【微博士】各向同性与各向异性

各向同性是指物体在不同的方向上都表现出相同的特性，或者说它的物理化学性质不因观测方向的不同而有所变化；各向异性则恰好相反，是指物体在不同的方向上表现出不相同的特性。

【微问题】宇宙早期各处的温度差异为何那么微小？

【关键词】各向异性 声波振荡 宇宙空间曲率

为什么说宇宙中藏有“暗物质”

怎样才能知道口袋里装了几颗糖呢？你可以打开口袋数一数，也可以不打开口袋用秤称一称，来估计糖的数量。1933年，瑞士天文学家兹维基就是这样估计星系团的质量的。他惊讶地发现，某些星系团根据发光物质“数”出来的质量远小于根据星系运动“称”出来的质量，两者竟相差10倍以上！这说明星系团内发光物质太少，大部分物质可能是不发光的！兹维基称其为“短缺质量”或“无踪质量”，意为一部分物质无影无踪不知上哪儿去了。

一开始并没有人重视兹维基的结果。过了将近40年后，类似的情况越来越多，天文学家开始明白，宇宙中可能存在不发光的物质。它们虽然不发光，但是有引力，所以能够感觉到它们的存在。天文学家把这种不能直接看见的物质统称为“暗物质”。

现在有越来越多的观测证据，例如星系团的形态、星系自转、引力透镜、星系团发出的X射线、宇宙微波背景辐射各向异性等都表明，宇宙中可能存在大量的暗物质。

(N)



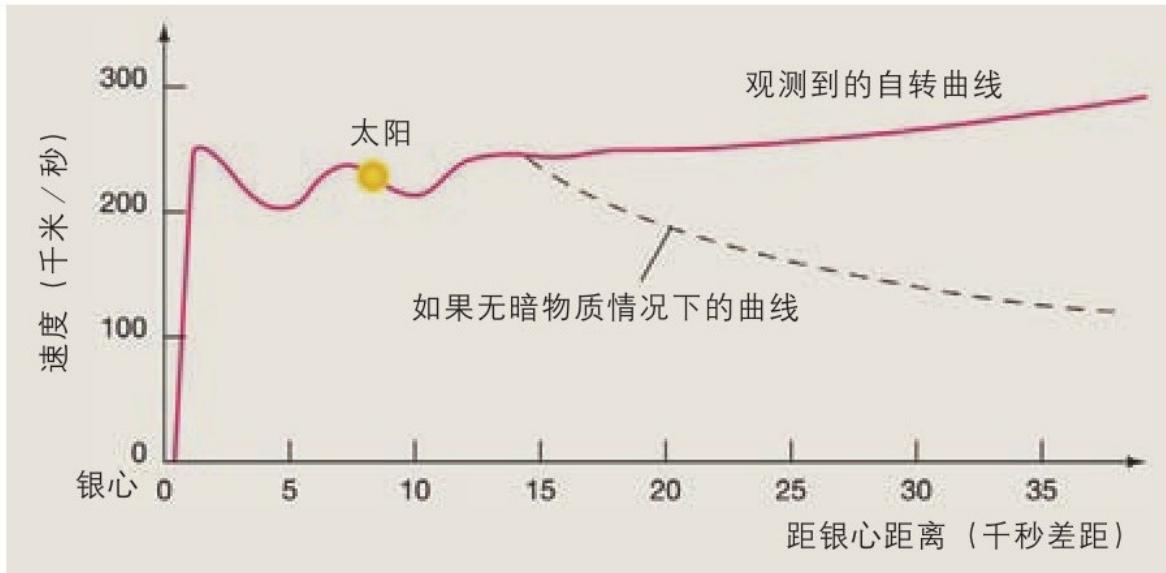
星系团CL0024+17中心直径250万光年的暗物质环状结构

先说星系团的形态。星系团中的星系都在快速运动着，但100多亿年来，星系团居然一直保持团状而不瓦解，内部一定有一种强大的引力将团内星系紧紧吸引住，否则这些星系早就会由于快速运动而四处飞散，星系团也早就土崩瓦解了。提供这种引力的主要就是暗物质。不仅如此，星系团的形成过程也应该有暗物质作为“陷阱”，吸引发光的物质落入其中而形成星系。

再说星系的自转。天文学家原以为星系边缘的恒星，一定也像行星绕太阳转动那样，距离越远，速度就越小，绕行的速度大致同距离的平方根成反比，这就是所谓的开普勒运动。1975年，美国女天文学家维拉·鲁宾发现，旋涡星系里大多数恒星都以相同的速度绕星系中心转动，这与上述理论完全相悖。最流行的解释就是星系晕里有大量的暗物质，它们的引力造成了星系奇特的转动曲线。

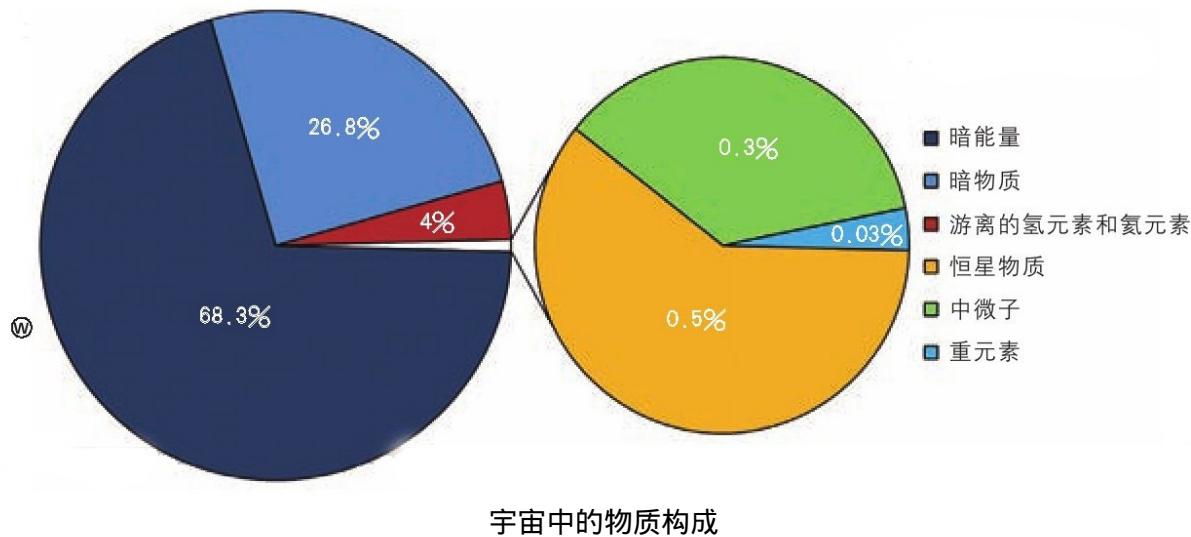


星系团Abell520（蓝色是主要由暗物质贡献的质量分布，绿色是热气体，橙色是恒星）



④

不仅如此，对宇宙密度的测量结果等表明，整个宇宙的物质组成中，可见物质同暗物质的质量之比大致在1:5到1:6之间。所以说，暗物质对我们整个宇宙都至关重要。



那么暗物质是由什么组成的呢？可能有两种。一种就是普通物质，也就是所谓的重子物质，比如褐矮星、黑矮星、中子星、黑洞等发光微弱的天体。它们可以参与电磁相互作用，即可以发射光或吸收光。但是由于太小、太冷或太远而不能被目前的望远镜探测到。不过，根据理论研究可

知，重子物质不可能占到这么高的比例。所以绝大部分暗物质可能是另一种物质——非重子物质。非重子物质不参与电磁相互作用，不会发光，也不会吸收光。按运动快慢，它又分为热暗物质和冷暗物质。但是，宇宙的大尺度结构表明热暗物质没有这么多，所以暗物质应该主要是冷暗物质。冷暗物质最有可能的候选者有渺中子、轴子、引力微子等。渺中子是超对称理论预言的粒子，它非常重，质量可以达到质子的1000倍。不过在宇宙中的分布非常稀疏。轴子也是理论预言的粒子，其质量非常小，只有质子的100万亿分之一，但是密度非常大。目前对暗物质粒子的探测还在进行中，尚没有确定的结果。（傅承启）

怎样才能探测到看不见的冷暗物质

冷暗物质既不发光也不吸收光，那么科学家又是怎样来探测它们的呢？

一种办法是直接探测暗物质粒子。现在常用的探测装置有两种，一种是液态惰性元素探测器，如用液氙或液氩。加拿大南部的萨德伯里市有个废弃镍矿，现在是加拿大的地下物理实验室，正在实施多项直接探测暗物质的计划。探测器安装在地下深达2千米的实验室里，注满了液态惰性元素。它们探测的是一种暗物质的候选者，被称为“弱相互作用大质量粒子”（缩写WIMP）。当WIMP粒子撞击到液氙或液氩上时会发出闪光，这样就有可能探测到它了。美、英、意、日等国有多处废弃的深矿井改建的实验室，也都采用惰性探测器探测暗物质。还有一种探测装置是采用锗一类半导体制成的低温探测器，将它冷却到极低的温度，例如0.1开，当WIMP粒子撞击锗原子时会产生微小的热量，所以测量探测器的温度变化就能识别WIMP粒子，如美国与欧洲就有这类装置。中国也在四川锦屏山2500米深处建成一个地下暗物质实验室，它同时拥有上述两种探测装置，为当前世界上最深的地下实验室之一。



©

阿尔法磁谱仪正安装到空间站上



阿尔法磁谱仪

除直接探测外，也可用间接手段探测暗物质。两个WIMP粒子碰撞时会湮灭，并产生 γ 光子或一对正反粒子。将 γ 望远镜或粒子探测器对准暗物质分布集中的地方，例如银晕或银心，看看那里的 γ 射线数量或正反粒子的比率是否超过预期值。如果超过，就要看它们是不是WIMP粒子湮灭产生的了，所以这种方法需要仔细排查非暗物质的可能性。2011年由美国“奋进号”航天飞机送到国际空间站的“阿尔法磁谱仪”使用的就是这种手段。2013年2月，华裔物理学家丁肇中教授宣布“阿尔法磁谱仪”发现了WIMP粒子存在的间接证据。（傅承启）

【微博士】冷暗物质和热暗物质

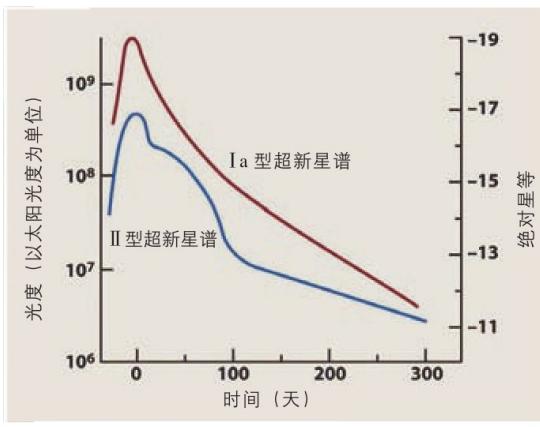
暗物质不参与电磁相互作用，可分为“冷暗物质”和“热暗物质”，其差异在于暗物质粒子的运动

速度。以接近光速运动的暗物质粒子称为“热暗物质”，例如以光速运动的中微子。以远低于光速运动的暗物质粒子称为“冷暗物质”。其动能远小于静止质量。介于两者之间的则称为“温暗物质”，其动能和静止质量相差不大。目前大部分科学家认为，除暗能量外，宇宙的质量主要是由冷暗物质贡献的。

【微问题】暗物质团块是什么形状的？

【关键词】暗物质 非重子物质 星系转动曲线

为什么说宇宙膨胀在加速



两类超新星的光变曲线

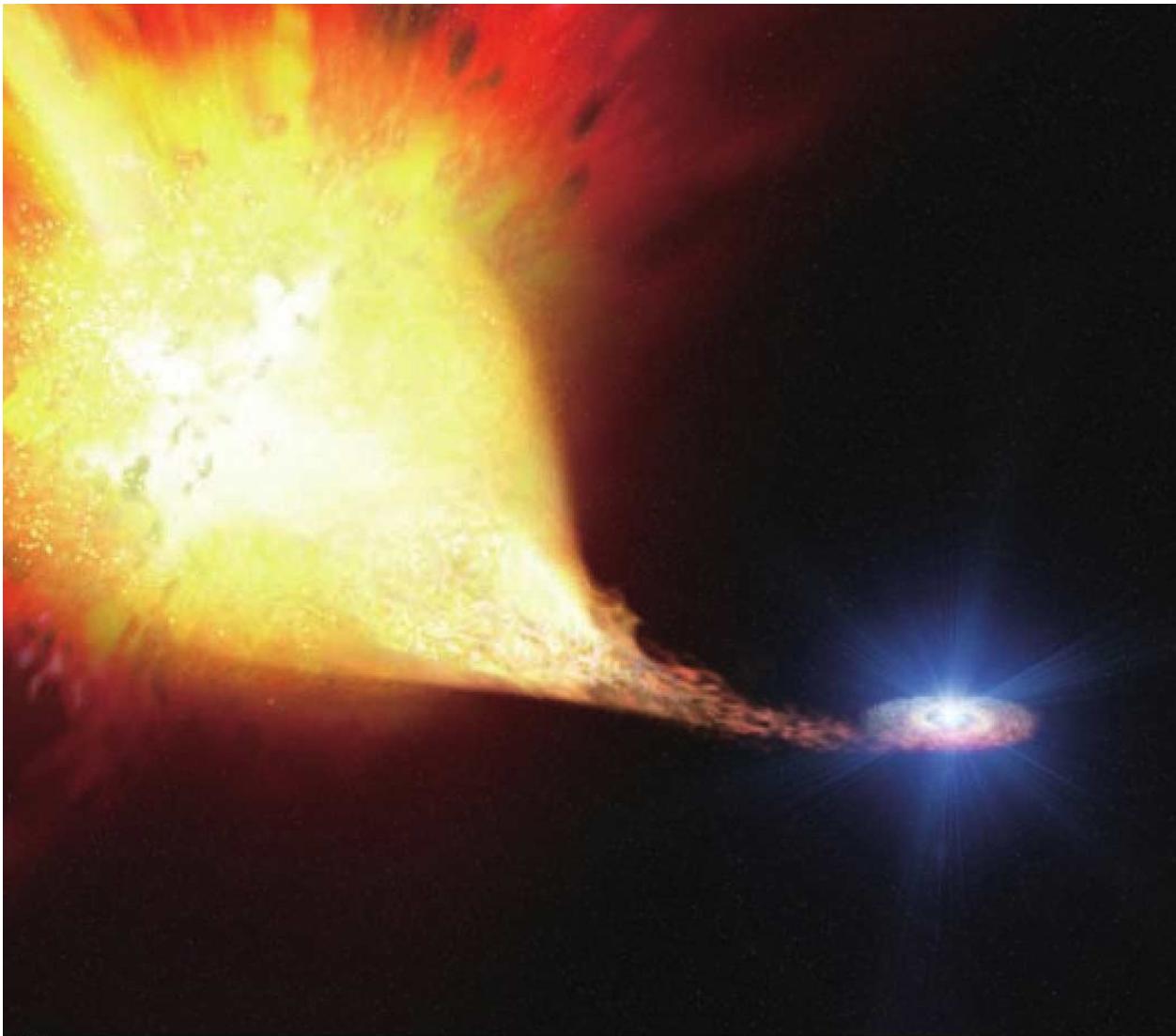
在20世纪即将过去之际，两支观测高红移超新星的国际团队先后发表了一个惊人的结论：宇宙不但在膨胀，而且在加速膨胀！他们凭什么得出这样的结论呢？原来这些科学家观测的是“Ia型超新星”，这类超新星有一个非常好的物理特性，那就是爆发达到顶峰时，其光度基本上是一个确定值。这样，我们就可以将Ia型超新星作为宇宙学尺度上的“标准烛光”。只要看到遥远星系中的Ia型超新星，测量其视亮度，就可以推算出它的距离有多远。这就好比街上的路灯本来都是一样亮的，我们就可以从一盏路灯的明暗推断它离我们有多远。

②



Ia型超新星形成过程

W



⑩

一颗白矮星正在吸收红巨星的物质

两支观测队的天文学家惊讶地发现，用Ia型超新星测得的星系距离要比用哈勃定律的速度——红移关系测得的星系距离大得多，也就是说遥远的超新星要比宇宙均匀膨胀所能到达的位置更远。对此唯一的解释就是宇宙现在比过去膨胀得更快，也就是宇宙膨胀在加速！

宇宙加速膨胀成为20世纪末最大的科学新闻之一，它不仅为超新星的观测所证实，而且为后来的宇宙微波背景辐射、引力透镜、宇宙大尺度结构等观测所证实。现在知道宇宙加速膨胀大约始于宇宙诞生之后70亿年的时候。最早获得这个结果的三位天文学家荣获了2011年度的诺贝尔物理学

奖。（傅承启）

【科学人】高红移超新星测量团队



布赖恩·施密特



索尔·珀尔马特



亚当·盖伊·里斯

用高红移超新星证实宇宙加速膨胀的三个科学家是：布赖恩·施密特，1967年生，澳大利亚天体物理学家，1993年获哈佛大学博士学位，高红移超新星搜索队的领导人。索尔·珀尔马特，1959年生，美国天体物理学家，1986年获加利福尼亚大学伯克利分校博士学位，超新星宇宙学计划领导人。亚当·盖伊·里斯，1969年生，美国天体物理学家，1996年获哈佛大学博士学位。三人同获2011年度的诺贝尔物理学奖。

为什么说是暗能量加速了宇宙膨胀

一般的物体膨胀后，会有一种收缩的趋势。比如一个气球，把它吹胀后一旦放开，就会缩回去。这是由于气球的外皮在吹胀时储存了势能，在外力去除后就会释放出来，把气球拉回原样。宇宙也类似，只不过让宇宙收缩或者减速膨胀的力量是由引力提供的。当宇宙膨胀时，物体就相当于逆着引力方向被扔出去，这时引力会让宇宙的膨胀减速。但是现在观测到宇宙的膨胀非但不是减速，而是加速的。那么必定有一种力量，起到了和引力相反的作用。目前，科学家还不知道这种力量到底是什么，而且也测

量不到，因此干脆称之为暗能量。

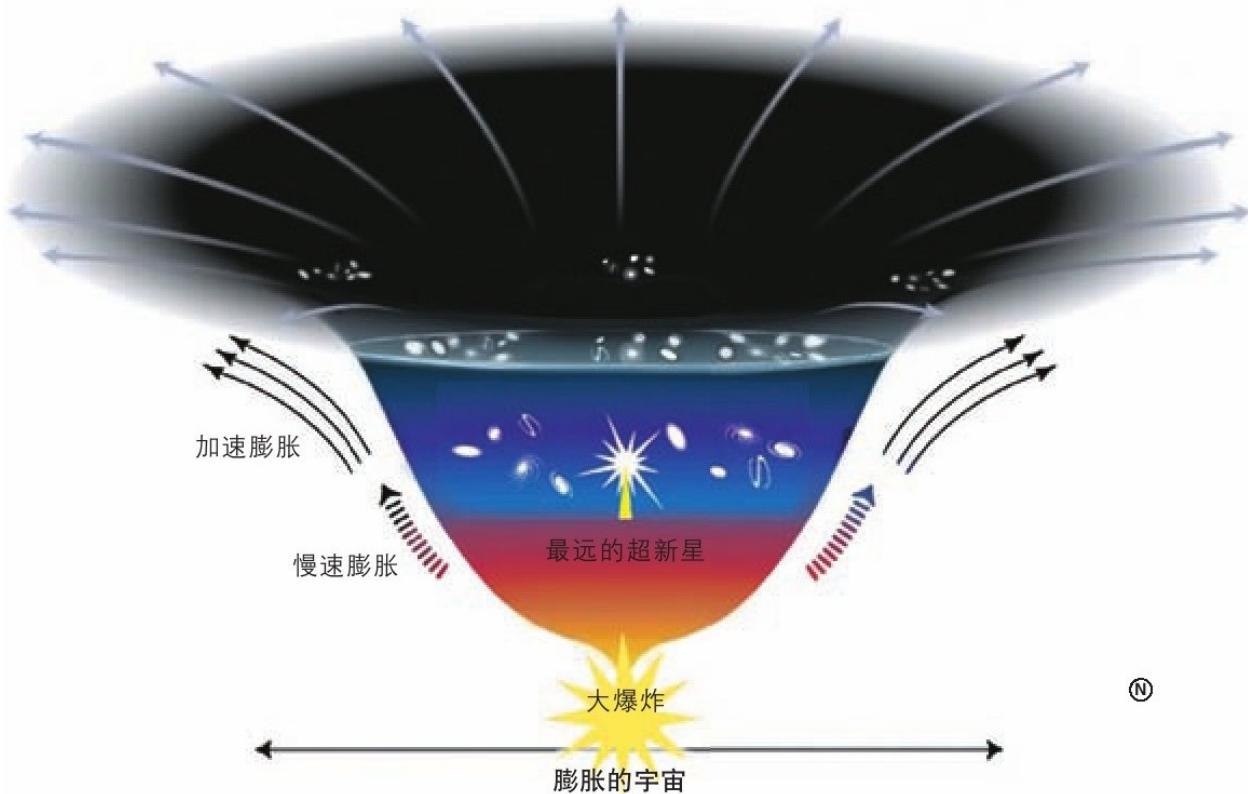
虽然不知道暗能量到底是什么，科学家还是可以描述它的主要性质。它应该均匀地充满整个宇宙，与宇宙的体积成正比，并具有负压力的特性。通常物质系统具有的都是正压力，随着体积变大，往外膨胀的力逐渐变得小于收缩的力，于是膨胀停止并收缩。暗能量的负压力则不然，体积变大，膨胀的力反而会大于收缩的力。如果暗能量具有负压力的特性，宇宙膨胀加速就自然得到了解释：宇宙膨胀时，宇宙空间体积随之增大，暗能量的压力变强；与之相反的是，宇宙空间尺度越大，阻止宇宙膨胀的引力越小。一个变大一个变小，造成了宇宙膨胀的加速。所以暗能量应该起着一种反引力或者说斥力的作用。

那么暗能量应当有多强呢？根据2013年的最新测量结果，暗能量占宇宙物质-能量密度的68.3%，而暗物质和普通物质分别占26.8%和4.9%（普朗克卫星数据）。也就是说，95%的宇宙是由看不见的物质和能量组成，难怪有人称它为暗宇宙。

那么，暗能量到底是什么呢？物理学家提出了一些模型，但是迄今没有一个能令人完全信服。其中最简单的一种解释就是真空能。简言之，就是真空具有的能量。按现代量子物理学的不确定关系，真空本身并不平静，充满着瞬时存在又瞬时湮灭的虚粒子，这些幽灵般的粒子随机地产生和消失，并对周围发生细微的影响。因此，在量子物理学看来，即使是真空系统，也具备最低的能量，这种能量称为零点能，也就是真空能。

真空具有的这种能量会产生引力，同时也会产生压力。在宇宙尺度上，真空的压力与引力产生的综合效应是一种斥力（或者说负引力），这正好符合暗能量的特性。真空产生的斥力大小和其能量密度有关。按量子场论推算，我们这个宇宙的真空能密度为 10^{116} 电子伏/厘米³，但是我们实际测量出的只有 10^{-4} 电子伏/厘米³。也就是说实际真空能密度比理论预言的小120个数量级！假如说真空能真的是暗能量的话，那么必然有一种与真空能“等效”的什么机制，对真空能密度起了“抵消”的作用。这就好比在100层

高的楼上踏入一个电梯，我们之所以感觉不到楼板的高度，而只感觉到电梯与楼板间的落差，是因为电梯升到了100层，“抵消”了楼的高度。



与真空能等效的是什么呢？今天，大部分科学家认为引力场方程中的“宇宙学常数”是最好的候选者。宇宙学常数最初出现，是爱因斯坦为了使宇宙静止而“硬加”进来的，一开始它就没有任何物理意义，所以获得了这么古怪的名称。后来人们发现宇宙是膨胀的，加入宇宙学常数就被认为是错误的。爱因斯坦也曾一度后悔过。但今天看来，宇宙学常数和万有引力常数 G 、光速 c 类似，是我们这个宇宙的一种基本属性。它很可能不为零，而且是正的，好起到抵消真空能的作用。不过，为了解释宇宙的加速膨胀，宇宙学常数必须与真空能相互抵消掉前面120位数字而只留下极其微小的尾数。这实在是一件太巧太偶然的事，以致令人难以置信。不过，不管怎样，这还不失为一种简单而有魅力的解释。爱因斯坦要是知道他提出的宇宙学常数还有这样的物理意义，一定会欣喜若狂！（柴一晨傅承启）

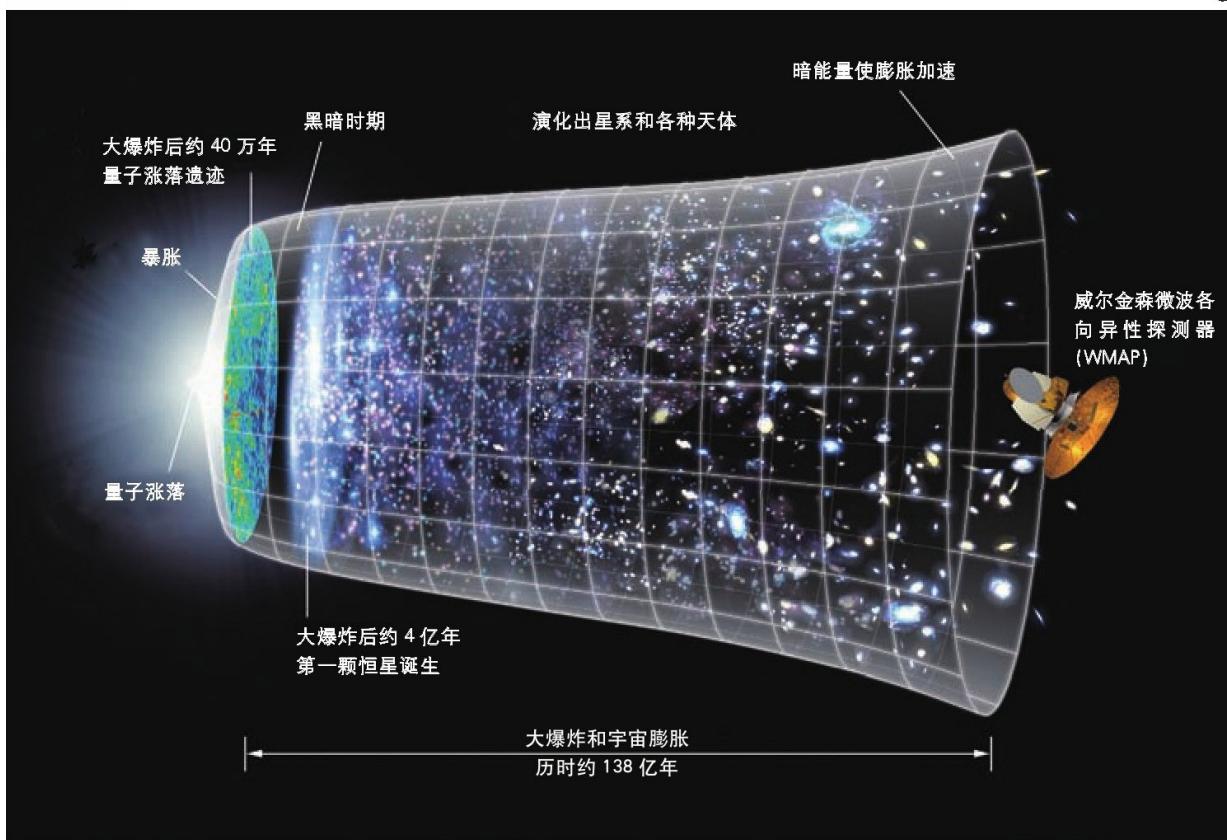
【微问题】加速膨胀的宇宙还会慢下来吗？

【关键词】*Ia*型超新星 宇宙加速膨胀 暗能量

为什么说宇宙极早期经历过一次暴胀

20世纪70年代，大爆炸宇宙论已经成功地解释了遵循哈勃定律的膨胀、氢和氦等轻元素的丰度以及微波背景辐射等观测现象，因而被公认为标准宇宙学模型。但是，它仍然面临一些难以克服的疑难，主要包括：

第一，视界问题。天文观测能够达到的最大范围称为视界，其尺度相当于从大爆炸开始起光线所走的距离。视界是事物能有因果联系的最大尺度，它会随宇宙年龄的增长而扩大，越早的时期视界越小，越接近现在视界越大。当宇宙的年龄只有38万年时，视界也就是大约38万光年大小。那个时刻宇宙发生了一个重大变化：在那之前，宇宙中的质子可以和电子结合形成氢原子，很快又会被光子电离成质子和电子，这种复合—电离的过程是可逆的。但到宇宙年龄38万年时，宇宙由于膨胀，温度已降低到3000开，光子的能量减小，已经无法把氢原子电离成质子和电子了。随着电子的减少，光子在传播时就不会再被电子散射，可以“自由”飞行。这些自由的光子就遗留在宇宙中，成为宇宙背景辐射。随着宇宙继续膨胀，这些辐射就变成了今天弥漫在我们周围的微波背景辐射。在地球上看起来，微波背景辐射的光子是从一个以我们为球心的球面上发出来的，这个面称为最后散射面。观测表明宇宙中的微波背景辐射是高度各向同性的，不同方向的温度差仅约 $1/100000$ 。也就是说，最后散射面上每个地方的温度都一样。这样就产生了一个矛盾：按理说，在最后散射面所对应的时间，宇宙的视界只有38万光年，这个尺度对应到天球上的张角大约是 1° ；但最后散射面的立体角有4万多平方度，于是可以分成4万多个相互不发生关联的区域（视界）。这些相互不关联的区域，温度怎么会全都一样呢？

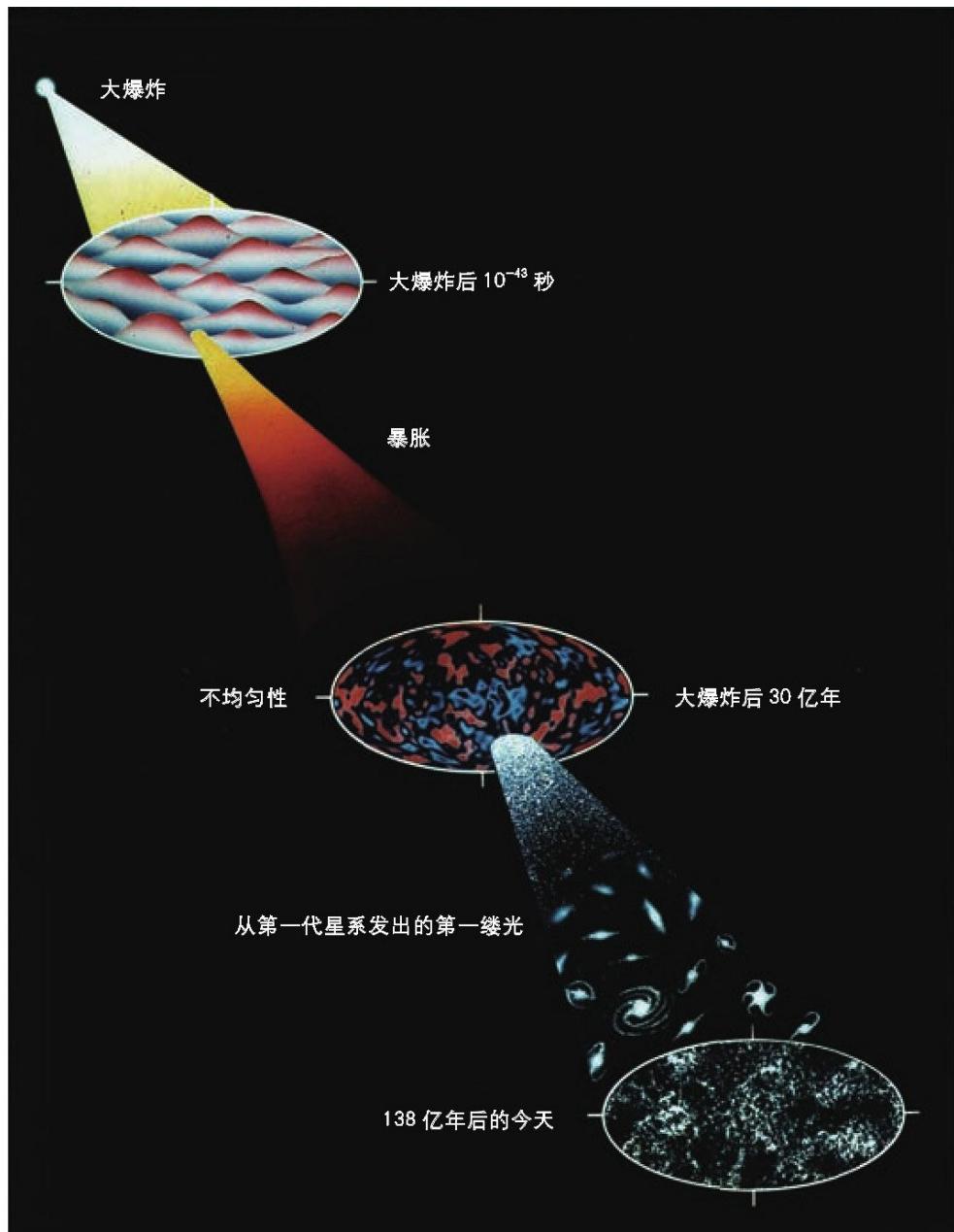


宇宙的极早期经历过一段时间极其短暂的暴胀，使得宇宙的尺度远远超出了视界范围

第二，平坦性问题。在大爆炸宇宙的模型中，宇宙的几何性质对平坦的偏离是随着宇宙膨胀而变大的。这就像我们瞄准远方的目标射击，如果一开始有一个小的偏差，结果就会有巨大的偏离。我们的宇宙也与此类似，从大爆炸到今天，宇宙的几何对平坦的偏离要增大58个数量级。如果大爆炸之初的宇宙有一点点不平坦，那么到今天就会放大为巨大的不平坦。然而观测表明，今天的宇宙是平坦的，这就要求宇宙在早期必须极其平坦，或者原初宇宙的密度与膨胀速率处处都十分精确地相同，精确到仅在小数点之后第58位才出现偏差。这样的巧合在物理上是十分困难的。

第三，结构起源问题。我们今天观测到的宇宙是由星系、星系团、超星系团这样的结构组成的。这样的结构来自于早期的密度扰动。如果你在一面上撒上些均匀的细沙，敲鼓后就可以发现细沙会出现疏密相间的纹路，纹路的尺度与鼓振动的波长尺度相当，这和形成星系的原理类似。要

产生星系这样的结构，扰动波长得有几百万光年那么长。然而，按照大爆炸理论计算，在星系形成之初，当时的视界尺度尚小于扰动波所需的尺度，这就使星系等结构无法在视界内形成。这种情况就像你无法在一个比指甲盖还小的鼓上敲出细沙的纹路一样。那么，今天的星系又是怎么来的呢？



④

结构起源问题

第四，遗迹粒子问题。物理学中关于各种力的大统一理论预言，在宇宙早期的极高温条件下应该产生大量的遗迹粒子，其中也包括磁单极子。磁单极子只有一个极性，就像电子只带负电荷或质子只带正电荷那样。但我们今天发现的磁性物质，比如磁铁，都有两个极性，即S极和N极。你把一块磁铁掰成两半，它还是有两个极性，不断掰下去直到原子级别，它依然有两个极性，这对世界上所有的物质都是如此。至今我们从未找到过一个磁单极子。这又是为什么呢？

面对这些困境，美国物理学家古思在1981年提出了暴胀理论。暴胀是指从宇宙诞生之后 10^{-35} 秒到 10^{-33} 秒之间的一个极早阶段，在那段极短的时期内，宇宙的尺度指数式地膨胀了 10^{43} 倍。暴胀可以解决以上的这些疑难。暴胀允许宇宙早期尺度非常小，可以比不经历暴胀的宇宙早期尺度小 10^{43} 个量级。在这么小的尺度内，磁单极子的数量就非常少，今天找不到磁单极子也显得很自然。这么小的尺度在视界范围之内，温度、密度等各种物理状态得以通过扩散而均匀。宇宙经历暴胀之后尺度已经超出了视界范围，变成了彼此无法联系的多个系统，但是均匀的性质却留下来了，表现为背景辐射的各向同性，这也解决了均匀性问题。同样，暴胀之前的宇宙尺度非常小，其产生的原初密度扰动也在视界之内。暴胀把这些扰动拉大到星系、星系团和超星系团的尺度，于是宇宙可以形成复杂的结构，这又解决了结构起源问题。暴胀的过程和膨胀的过程不一样（前者由真空能量主导，后者由辐射能量或物质主导），所以在暴胀过程中宇宙原来的不平坦性不仅不会被放大，反而会缩小。于是，即使原初宇宙不平坦，经历暴胀之后也会变得十分平坦。这就解决了宇宙的平坦性问题。由于暴胀理论很好地解决了大爆炸宇宙论原先无法处理的这些问题，而且与



⑥

暴胀使宇宙变得平坦

观测事实符合得很好，因此已经被绝大多数科学家接受。（柴一晟）

【科学人】古思

阿兰·古思（1947—），美国物理学家，美国科学院院士、美国艺术与科学院院士。主要工作领域是基本粒子理论中的数学问题。他与同事合作研究早期宇宙中的磁单极问题，导致1981年提出修改大爆炸标准模型的暴涨宇宙理论。古思于2001年获富兰克林学院富兰克林物理学奖章，2002年获的里雅斯特国际理论物理中心狄拉克奖。

【微问题】暴涨结束时的宇宙有多大？

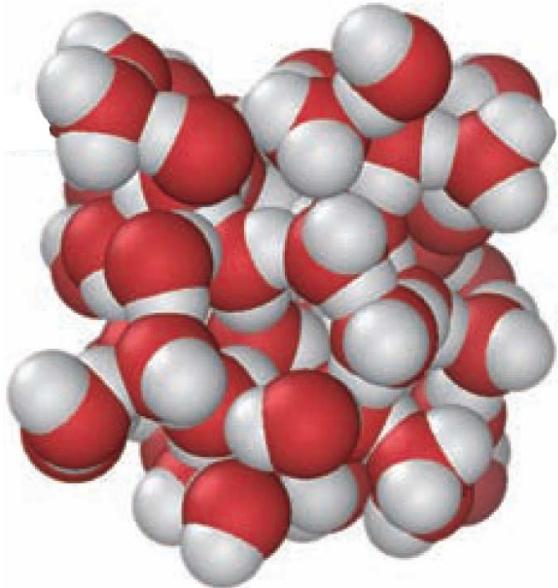
【关键词】暴涨 视界问题 平坦性问题 原初密度扰动 磁单极子



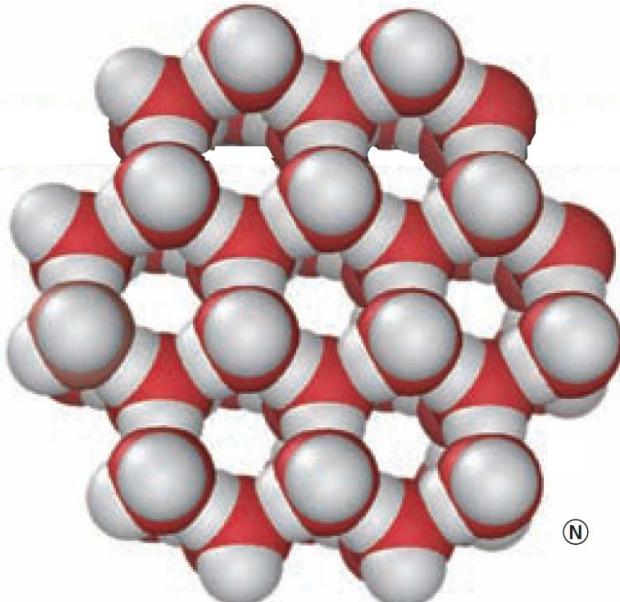
为什么说丰富多彩的宇宙归功于“不对称”

“对称”在我们的生活中处处可见，比如你的双手就是左右对称的，在照镜子时，你是前后对称的，而陀螺则绕着它的转轴旋转对称。古希腊人认为“对称就是美”，因为对称显示了一种不变性。他们觉得最对称的就是圆。圆不论怎么旋转、翻转，样子都不改变，因此圆是最美的，天上的行星运动的轨道也应该是优美的圆形。不过，今天我们可以知道，天体运动的轨道并不是圆而是椭圆。科学家还告诉我们，对称性并不总是最美的，恰恰是对称性的破坏（称为“对称性破缺”）带给我们一个丰富多彩的宇宙。

对称性破缺的一个例子就是相变。相变大家都很熟悉，水从一种状态（比如液态）变成另一种状态（比如固态冰）的过程就是一种相变。液体状态的水是各向同性的。在水中，无论哪一个方向的性质都一样。而水结冰以后就变成了晶体，有了方向性，不再处处一样，对称性也就被破坏了。在宇宙早期历史中，发生过多次类似水结冰这样的相变过程。比如宇宙暴胀时期就经历了真空的相变。暴胀之前，宇宙处于高温的真空态，暴胀之后，宇宙相变到了一个低温的真空态。这个过程就像水结冰一样，放出了大量的能量。这些能量从一些空无一物的场（比如电子场）中激发出大量的场粒子（比如电子），并把它们加热，煮成一锅极高温的“粒子汤”。今天宇宙中的物质，就来源于这锅被真空的相变“无中生有”地激发出的粒子汤。



水在各个方向上性质相同，是各向同性的
水结冰的相变过程破坏了对称性



冰有方向性，是各向异性的

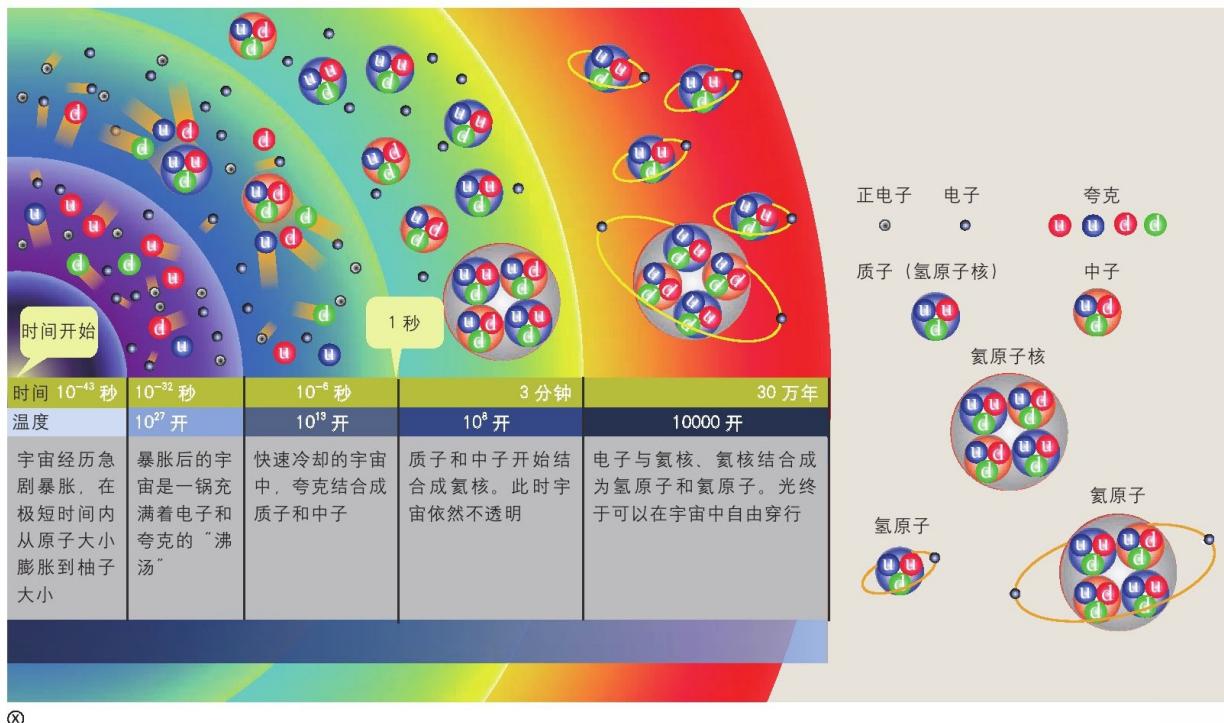
®

对称性破缺的另一个例子，是正反物质的不对称。今天宇宙中的绝大部分物质都是质子、中子、电子等正物质，而几乎找不到反质子、反中子、正电子等反物质。因为反物质一旦出现，就会和正物质湮灭而变成光子。但在宇宙极早期的高温粒子汤中，反物质却是大量存在的。它们和正物质、光子一起处于热平衡状态。正反物质不断湮灭变成高能光子，高能光子又不断变成正反物质。如果宇宙是完美对称的，那么正反物质的数量应该完全一样，正物质和反物质会在宇宙膨胀过程中完全湮灭成光子，今天我们的宇宙就会只有光，而没有恒星和星系，也不会有人类了。正是由于对称性破缺，使得正物质和反物质的数量不完全相同，才有了今天丰富多彩的宇宙。这种不对称性是非常低的，正物质只比反物质多出大约亿分之三，即大约每一亿个反物质粒子，对应一亿零三个正物质粒子。不要小看这微小的不对称性，在宇宙膨胀中，那一亿对正反物质粒子都湮灭了，就是那剩下的亿分之三的正物质粒子，演变成了我们今天的宇宙。（柴一晟）

暴胀之前，真空的温度已经低于相变温度，但还没有发生相变，这种状态叫过冷态。冬天南方地区的冻雨就是过冷态。冻雨的温度已经低于0°C了，但还是以液态的形式存在。这样的液滴只要有一点扰动，马上就会发生相变。所以冻雨落到地上立刻会从液态变成固态的冰。过冷态的真空也是如此，一遇到扰动就会在很短时间内完成相变。

宇宙中的第一个原子核是什么时候合成的

今天人们能够研究的宇宙是从 10^{-43} 秒开始的，这个时间称为普朗克时间。在此之前的物理状况目前尚缺乏有效的处理办法。我们所能描述的宇宙历史从普朗克时间开始。这时的宇宙尺度非常小，只有 10^{-40} 米，小于任何一个基本粒子，温度则高达1亿亿亿亿开（ 10^{32} 开）。宇宙从这时开始膨胀，到 10^{-35} 秒时，大小达到 10^{-30} 米，温度降到10万亿亿亿开（ 10^{29} 开），进入了一种被称为“过冷态”的状态。从这一点开始到 10^{-33} 秒时间，“过冷态”的宇宙发生了一次真空相变，发生了剧烈的暴胀。在此过程中宇宙尺度膨胀了约 10^{30} 倍，膨胀速度远远超过光速！经历了暴胀的宇宙却可能还不到一个柚子大（约0.1~1米左右）。这个“柚子”里面充满了电子、中微子等各种粒子及其反粒子。不过由于温度极高，人们今天熟悉的质子、中子等粒子还没能出现，只有组成质子和中子的“积木”，即各种“夸克”和反夸克。



第一个原子核在宇宙的最初三分钟形成

随着宇宙继续膨胀，到万分之一秒（ 10^{-4} 秒）时，宇宙温度降低到1万亿开（ 10^{12} 开），密度降低到 10^{15} 千克/米³。这时，夸克和其他粒子发生了“退耦”。什么叫退耦呢？原来，自然界有四种基本作用力，即引力、电磁力，和另外两种只有在原子尺度才会起作用的力——“强相互作用力”和“弱相互作用力”。微观粒子间发生的所有相互作用，都可以归入这四种力，传递这些力的媒介分别是“引力子”、“光子”、“胶子”、“中间玻色子”等粒子（称为媒介子），这个过程就好像穿着不同球衣的球队踢着不同颜色的足球。当温度很高时，微观粒子都像精力充沛的球员，不断交换着“球”（媒介子）。这时，“夸克队”的队员既有力气在本队队员之间传递“胶子”来进行强相互作用，也能把光子踢给电子来传递电磁相互作用。但当温度降低以后，“夸克队”就像体力不支的球员，再也没力气把光子传递给电子了，只能在自己球队内部传递“胶子”。于是它们只好退场，不再参与其他力的相互作用，这个过程就是退耦。

夸克退耦后，绝大部分夸克和反夸克互相反应而湮灭。极少数幸存下

来的夸克在宇宙年龄到达百分之一秒、尺度膨胀到太阳系大小时，每三个一组地结合成了质子、中子等粒子。不过这时，质子和中子还可以通过“弱相互作用”互相转化为对方。直到1秒左右，宇宙温度降到百亿开时，“弱相互作用”退耦，不再参与质子和中子的互相转化，质子同中子的比例才基本固定下来。当时，这些粒子并不能马上合成氦原子核。因为这时宇宙的温度还太高，氦核不能稳定地存在。一直要到3分钟左右，宇宙的温度降到约10亿开时，中子才能和质子反应，形成稳定的氦原子核。第一个原子核的合成就是在这个时刻进行的。因此，科学家常把宇宙的“最初三分钟”看作宇宙化学元素演化的起点。（柴一晟）

【微博士】大统一理论

在宇宙的膨胀过程中，随着温度的降低，引力首先和其他三种力“退耦”，然后强相互作用退耦，最后弱相互作用和电磁相互作用退耦，宇宙才有了四种不同性质的力。退耦是对称性破缺的结果。如果倒推回去，在极早期、极高温的宇宙中，四种力应该是耦合、统一的。这种想法称为大统一理论，是今天物理学研究的热点。

【微问题】夸克怎么结合成重子？

【关键词】对称性破缺 相变 退耦

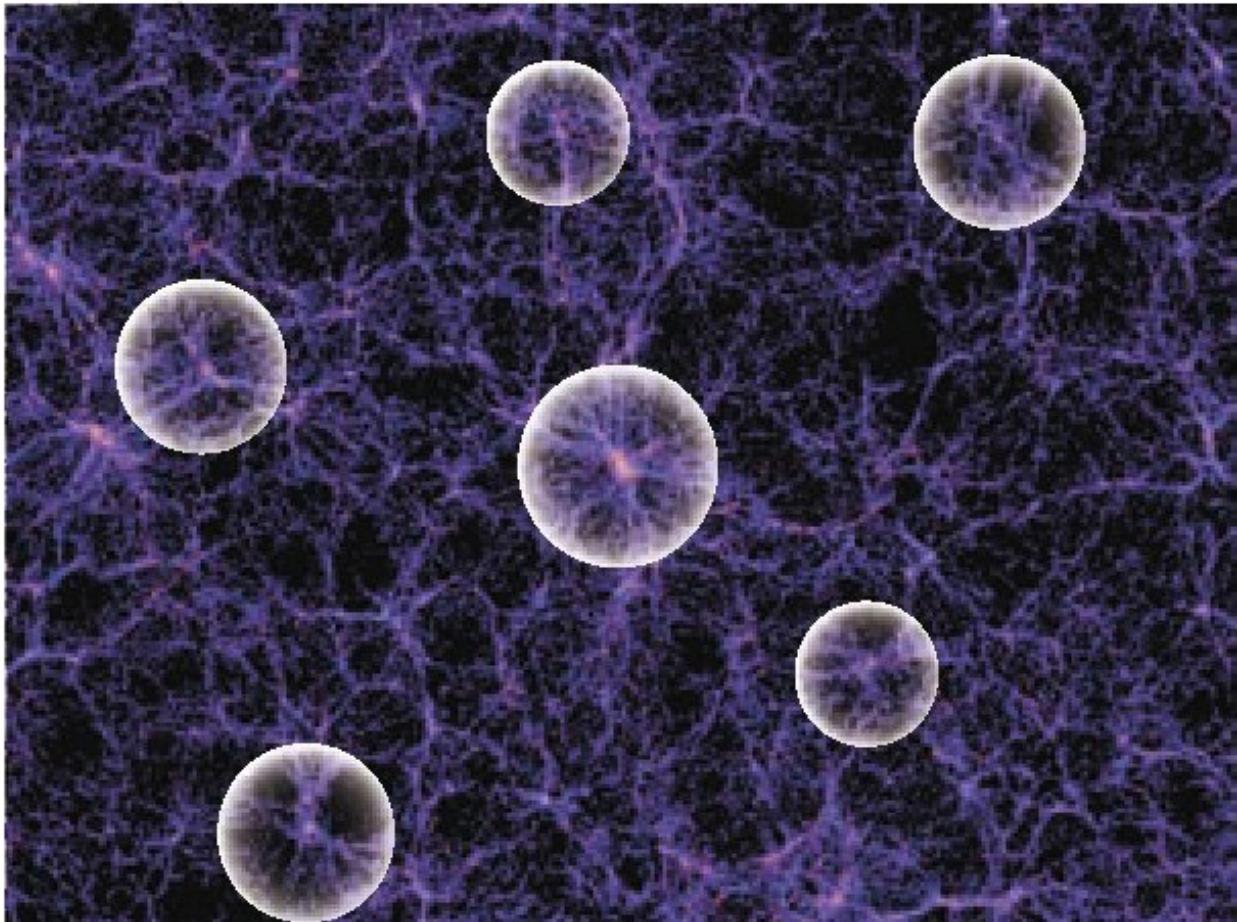
除了可见宇宙，还存在别的宇宙吗

人类在探索“宇宙”的过程中，经历了一次又一次“降格”：先是发现地球并非宇宙的中心，接着又得知太阳只是银河系众多恒星中的一员，20世纪前期人们又发现银河系之外还有众多的河外星系。照这样下去，会不会有朝一日竟然发现，人类今日所知的宇宙也降格了，成为多重宇宙或平行宇宙大家族的普通一员呢？

尽管没有直接的证据，但现有的物理理论、实验数据和天文观测结果都并未排除这种可能性。美国麻省理工学院的宇宙学家泰格马克将有关多重宇宙的研究粗略地分成了四个层面。

第一层面：视界之外的宇宙。

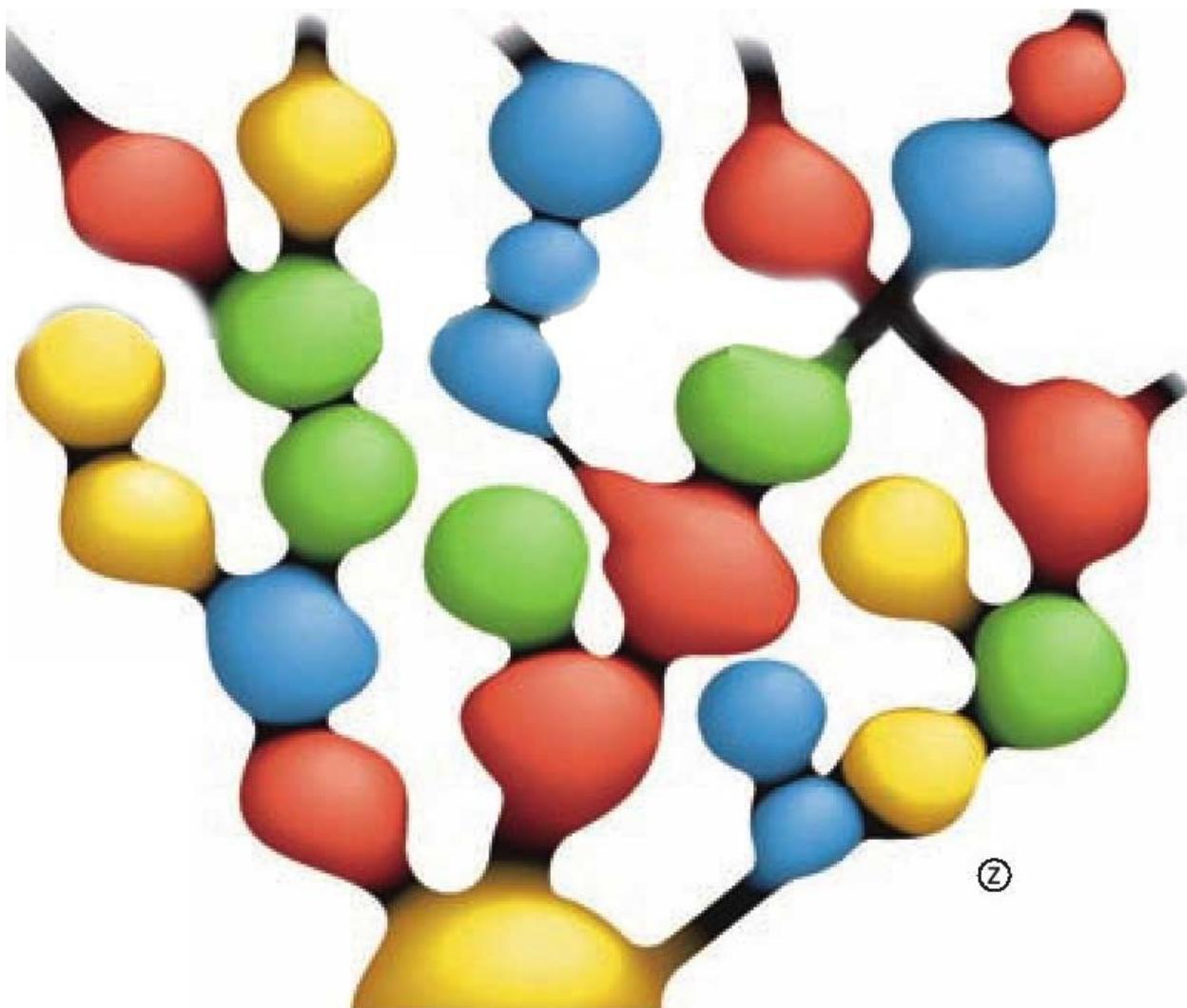
①



视界之外的宇宙，每一个宇宙都有一个局限的视界

即使使用最先进的望远镜，我们也无法将视野无限地向外拓展。这是因为我们所见的宇宙起源于约138亿年之前的一次大爆炸，如果空间静止，那么从大爆炸开始的光所能传播的范围极限就是138亿光年。如果考虑到空间本身的膨胀，这一范围是半径约460亿光年的球形区域。也就是说，此刻我们的视野必然局限于半径460亿光年的范围内，称为宇宙视界。科学家常把宇宙视界之内的部分称为可见宇宙。在可见宇宙之外的宇宙结构既有可能跟我们的宇宙相同，也有可能不同。

第二层面：暴胀的泡泡宇宙。

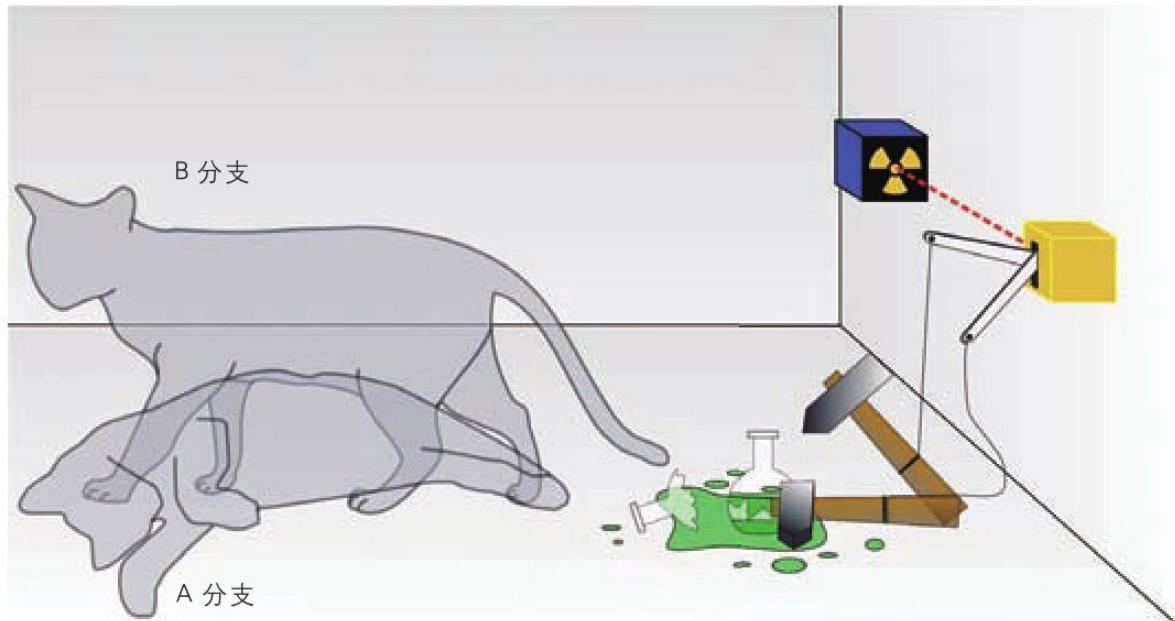


膨胀的泡泡宇宙

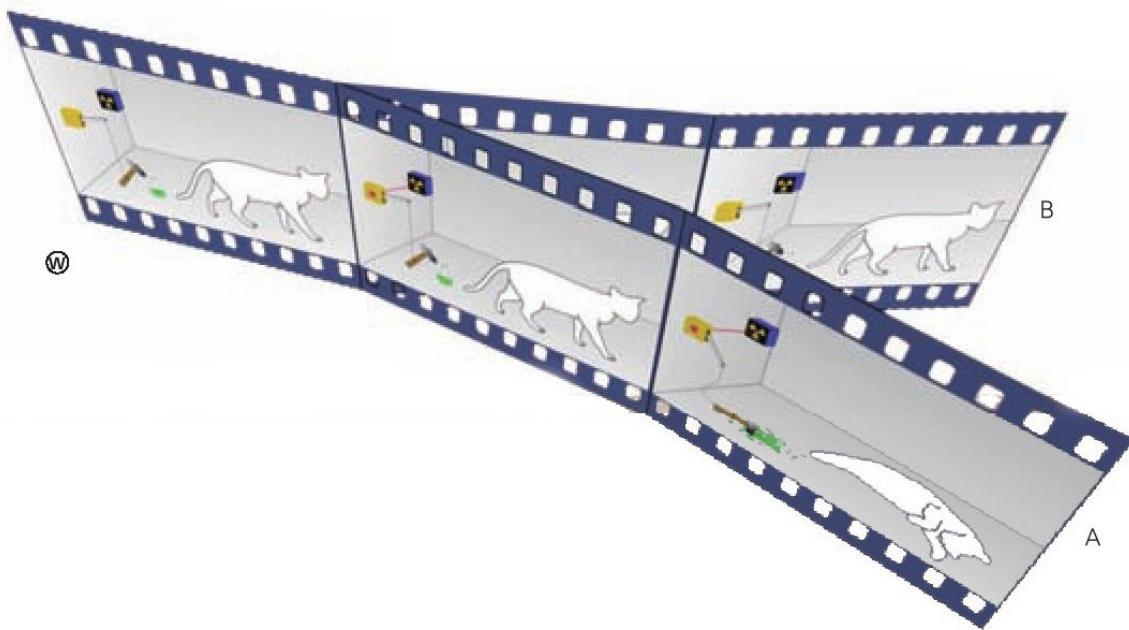
前一层面的多重宇宙可以看作膨胀多重宇宙的一个角落，因为俄罗斯物理学家林德研究发现，膨胀的过程可能永不停歇。膨胀不断地扩大空间的范围，空间中又随机地产生更剧烈的膨胀。这个过程有点像病毒的自我复制。虽然某一范围内的膨胀可能停止，然后形成第一层多重宇宙，但从整体上看，膨胀始终没有完全停下来。膨胀停止的区域夹在膨胀肆虐的空间中，好比一锅开水中气泡，因此，这个理论又被称作泡泡宇宙。不同泡泡宇宙之中可能存在不同的物理常数，甚至可能有不同的宏观空间维度。在这个理论中，虽然我们的宇宙年龄没有变化，但整个多重宇宙可能并不存在确定的起始时刻。

第三层面：量子多世界解释。

量子力学是20世纪最成功的物理学理论之一，但是，人们对如何解释量子力学中最基本的方程薛定谔方程存在分歧。从数学上看，一个粒子可以处于量子的叠加状态，同一时间既在这里，又在那里。但实验结果总是发现，对粒子进行多次测量，结果要么看到它在这里，要么看到它在那里。为什么理论和实验会存在差别呢？1957年，美国量子物理学家埃弗里特三世在他的博士论文中提出了新的解释。他认为，每进行一次测量，宇宙就分裂成一些分支，其中一组分支中的实验发现粒子在这里，另一组分支中的实验发现粒子在那里。观察者和粒子并不会意识到宇宙发生了分裂，每个宇宙分支之间互不干涉，独立演化。如果再进行别的量子测量过程，就会产生更多分支。这个理论虽然看上去比较玄，却与现有的实验和理论都没有矛盾，而且它保证了量子力学在数学上的自洽性。



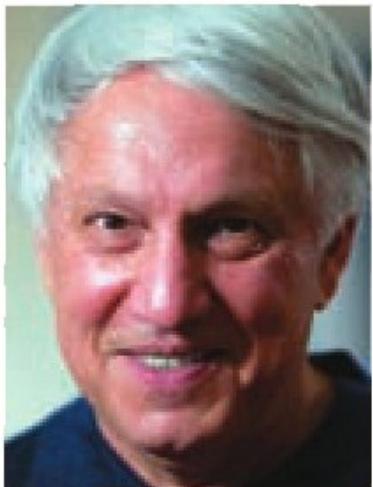
量子多世界的不同分支。A分支中，一个原子衰变引发毒药罐打碎，猫被毒死；B分支中，原子未衰变，猫还活着。处于叠加态的猫同时处于“死”和“活”的状态。这个理想试验称为“薛定谔的猫”



第四层面：数学结构的多样性。

“为什么宇宙中的规律是这样的，而不是别的样子？”美国物理学家惠勒发出诘问。即使将来我们找到了一个全面描述宇宙的终极理论，这个诘问还是存在于理论之外。宇宙的数学结构只有一个吗？泰格马克设想，除了前三个层面的多重宇宙，还存在拥有不同数学结构的多重宇宙。这样的宇宙可以抽象地存在，而不一定要以时空、物质、能量的形式存在。泰格马克举例说，计算机系统就是一个关于0和1的数学结构，并且状态不断地发生演化，这种虚拟世界，也可以看作第四层面多重宇宙的一例。

有人质疑多重宇宙理论无法用实验的方式证明它是否错了——这就叫“无法证伪”，因而不能算作科学理论，但泰格马克认为这只是偏见。他举例说，假如某个多重宇宙理论预言所有的宇宙都不含氧气，但我们却发现了氧气，就能证伪这个理论。除此之外，对于某些未知问题，多重宇宙的解释往往比其他物理理论更加简洁。（李剑龙）



◎

安德烈·林德（1948—）毕业于莫斯科大学，1975年任职于列别捷夫物理研究所，1989年加盟欧洲核子研究中心理论部，1990年成为美国斯坦福大学物理学教授。1982年，林德提出暴胀起源于真空二级相变的新模型，既保持了古思原有暴胀理论的优点，又解决了老理论存在的问题。此后近30年中，他陆续提出的混沌暴胀、永恒暴胀、多重宇宙、混合暴胀模型，成为新一代流行暴胀理论的基础。

为什么人择原理可以帮我们理解宇宙何以如此

人择原理是认为宇宙中生命（特别是人类）的存在可以对当前宇宙的状态（包括基本常数乃至自然规律）施加约束的一种主张。人择原理常常与多重宇宙一起帮助我们解释难题，它可以回答：我们这个宇宙的性质何以如此？答案就是，若我们的宇宙不如此，就不能演化出生命，更不会有我们在这里提出这个问题了。因为多数论证只涉及一般生命而非特指人类，所以也有人认为称它“生存原理”或许比“人择原理”更为确切。

例如，我们这个宇宙有一个宇宙学常数，可以十分精细地“抵消”真空中能的作用。“抵消”后剩下的“等效真空能密度”，只有量子场论推导得到的真空能密度的 $1/10^{120}$ 。这样的“等效真空能密度”可以满足我们所知万物的形成。如果等效真空能大一些，那么宇宙的膨胀速度就会过快，原始物质就无法聚集成星系和恒星，也就不可能有人类；如果等效真空能小一些，原始物质的引力优势太大，就会聚集成黑洞，也不可能有人类。那么，为什么等效真空能如此微妙，正好能允许人类存在呢？人择原理认为，不同的多重宇宙有不同的真空能，但是其中大部分宇宙中都无法产生人类，因而就没人会观测到其他的真空能大小。人类能观察到真空能的宇宙，必然是允许人类存在的宇宙。也就是说，人择原理要求观察者解释所观察对象的同时，也要考虑自身存在的影响。（李剑龙）



W

也许有许多宇宙，它们各有不同的物理常数，但只有较少的宇宙具有适合诞生智慧生物的物理常数

【微问题】为什么科学理论要求可证伪？

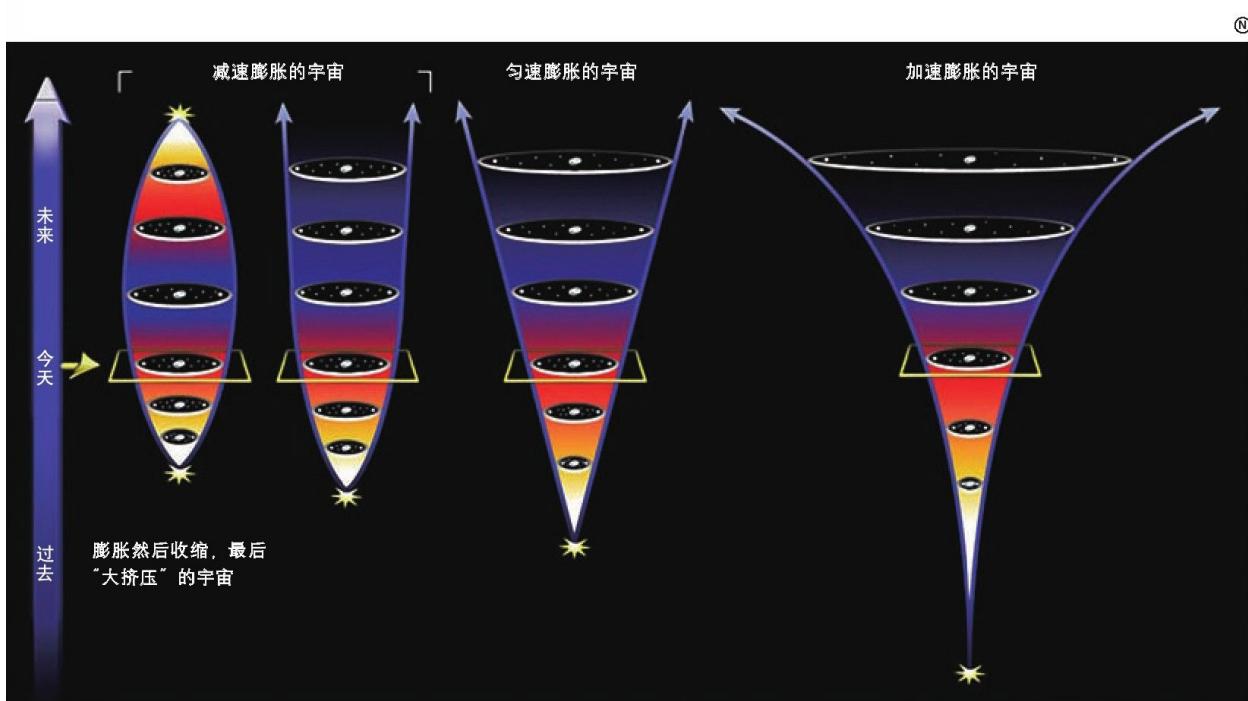
【关键词】多重宇宙 人择原理

无数亿年后的宇宙会是怎样的

如果有人告诉你，不论岁月多么漫长，包罗万象的宇宙最终也将死亡，你会觉得他是在胡说吗？不，他的话没错。问题是，宇宙如何终结自己呢？

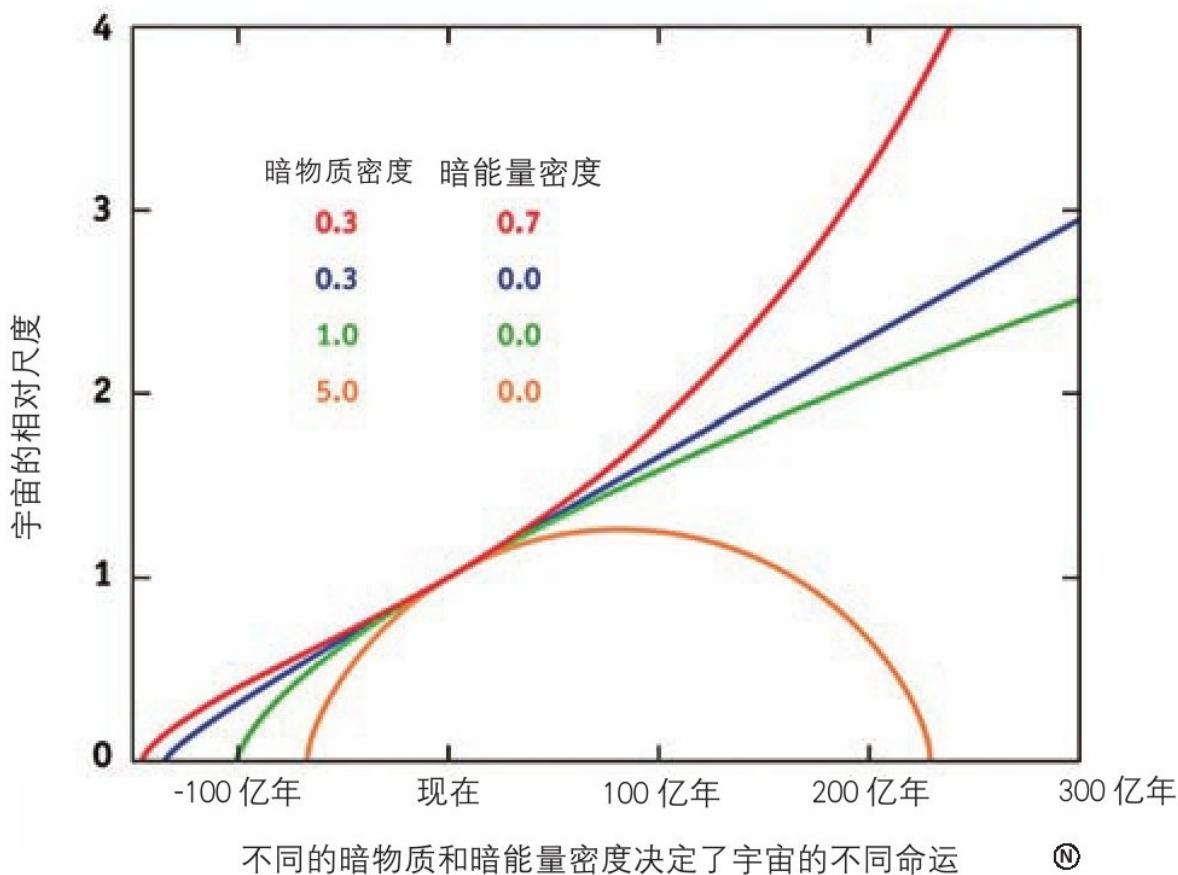
这首先取决于宇宙的物质密度。密度达到临界密度——每立方米约6个氢原子——的平坦宇宙，其命运与密度大于每立方米6个氢原子的闭宇宙和密度小于这一数值的开宇宙的命运都截然不同。

闭宇宙的结局很糟糕。由于物质的引力作用强大，宇宙的膨胀逐渐减缓，最后变为收缩。收缩越来越快，宇宙的温度也越来越高，最后整个宇宙就像个大熔炉。那时，曾经多彩的宇宙不复存在，恒星、星系都被挤压成一团，最后熔化为基本粒子，直到被挤成一个奇点。这种结局称为“大挤压”。



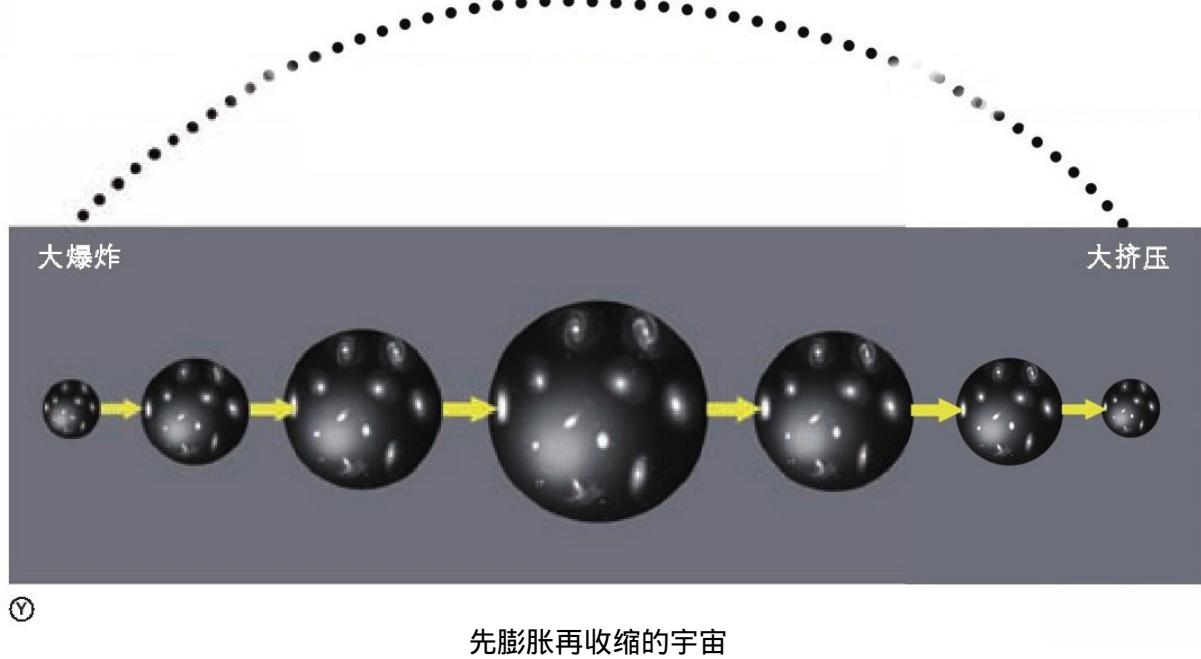
膨胀宇宙的几种可能情况

开宇宙或者平坦宇宙的情形将完全不同。由于物质的引力作用不够强大，这两种宇宙都将永远膨胀下去。在这种宇宙里，随着膨胀，天体间的距离越来越大，宇宙越来越空旷。恒星陆续死亡，曾经灿烂的宇宙越来越黯淡。最后，宇宙就像一锅极其稀薄的基本粒子“汤”，变得萧瑟荒凉、死气沉沉。人类即使在这种条件下还存在，也没有任何可用来处理信息的能源，当然也无法与外界进行通信。这就是所谓宇宙的“大冻结”。如果宇宙各处的温度趋于一致，也可以认为这种结局是一种“热寂”。



宇宙究竟会走哪条路呢？从20世纪90年代末起，天文观测发现宇宙的密度十分接近临界密度，也就是说宇宙很可能是平坦的。但其中，能够减缓宇宙膨胀的普通物质和暗物质只占不到30%，占另外70%以上的暗能量反而会加速宇宙的膨胀。由当前的数据向未来推演时，人们发现宇宙可能会终结于一次“大撕裂”：暗能量的密度越来越大，加速膨胀将摧毁一切引

力束缚系统，就连原子也无法幸免；那一刻，宇宙中任何两点之间的距离都变成了无穷大。大撕裂就像大爆炸或黑洞一样，也是一种奇点。当然，这些都不是最终的结论，因为科学家对暗能量的本质几乎还一无所知，对它们的研究，也许会彻底改变人类对宇宙命运的认识。（傅承启）



大爆炸前的宇宙是怎样的

常有人问：“大爆炸之前的宇宙是怎样的？”

根据霍金的奇点定理，回答总是：“不存在大爆炸之前。宇宙连同空间、时间及其物质和能量都诞生于大爆炸时密度和曲率无限大的奇点。”不过，暴涨宇宙理论的提出和暗能量的发现突破了奇点定理，所以这个回答不一定正确。那么除此以外，还有哪些可能呢？

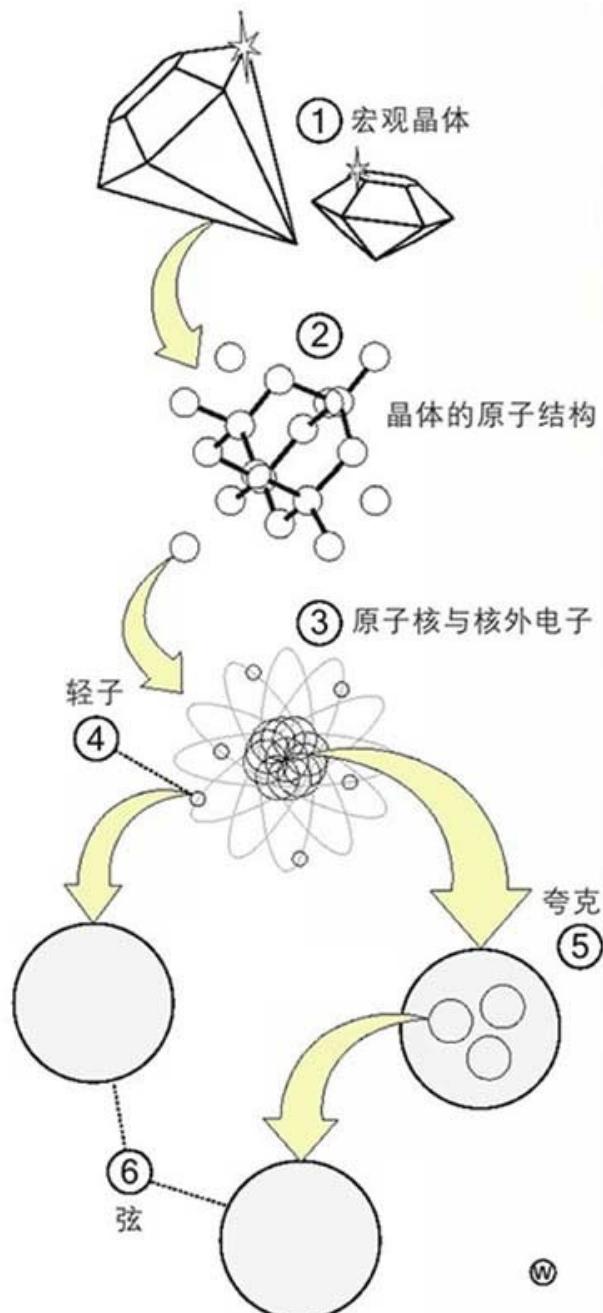
这是个高度猜测性的命题，科学家设想了许多模型。下面举几个有趣的例子。

首先是循环宇宙的模型。爱因斯坦在20世纪30年代曾经认为，宇宙在膨胀和收缩——或者说大爆炸和大挤压之间进行循环，这就是循环宇宙或者振荡宇宙。在这种模型中，宇宙会在大挤压中结束，然后就像神话中在灰烬里重生的凤凰，每次大挤压后又重新发生大爆炸，开始新一轮膨胀与收缩。但是，美国物理学家托尔曼提出了疑问：按照热力学的“熵增加原理”，这样的循环每进行一次，循环的周期和幅度必须变得更长、更大。倒过来看，前一次的循环就一定更短、更小，结果似乎回到了大爆炸的奇点。目前还很难确定这种循环会不会发生，会以怎样的形式发生。因为用来描述宇宙演化的理论主要是引力理论，当宇宙变得非常小时，必须同时考虑量子效应，这就需要首先发展出一套完备的量子引力理论。

近几十年来，一种量子引力的候选理论——超弦理论悄悄兴起。建立在弦论基础上的循环宇宙开始流行，这就是膜宇宙模型。弦论允许我们将宇宙描述成高维空间中的一张三维膜。这张膜可能会跟另一张完全平行的膜发生周期性的碰撞和反弹，碰撞过程类似于大爆炸，但不会产生无穷大的奇点问题。碰撞释放的能量转化成基本粒子，然后逐渐演化出各种天体结构，甚至智慧生命。但每一次碰撞都会把上一轮宇宙中的一切结构统统抹去，于是宇宙在碰撞和反弹之间一次次循环。

还有一种有趣的模型就是混沌暴胀模型。现在的天文观测表明，宇宙在诞生之初很可能经历了一次暴胀，然后逐渐安静下来，产生了众多的星系乃至人类本身。但是，物理学家林德在1986年提出，暴胀一旦发生，就永远无法停止。因为暴胀会让空间急速膨胀，随着空间迅速变大，无处不在的量子涨落可能会引发空间的局部发生新的暴胀，进而让这部分空间变得更大，然后又在其中的某个地方引发新的暴胀。在这样的模型中，永恒的暴胀就像一锅沸腾的开水，我们的宇宙只是其中一个气泡。这个气泡幸运地停止了暴胀，最终演化成一个有血有肉的宇宙。这个宇宙之外，可能还存在别的气泡宇宙，这样的气泡还在不断地冒出、长大。逆着时间往回看，我们的宇宙可以追溯到一次暴胀，而这次暴胀又可以追溯到另一次暴胀。这个追溯过程也许可以无限地进行下去。

关于大爆炸之前，理论家们各执一词。人们希望从宇宙微波背景辐射的精确测量中获得更多信息，用来甄别理论的真伪。且看谁会笑到最后。
(傅承启)



从弦论观点来看，世界可能是由弦组成的

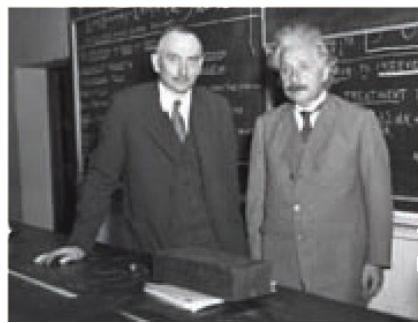
【科学人】托尔曼

理查德·托尔曼（1881—1948），美国数学物理和物理化学家，加州理工学院著名教授，兼有实验和理论才华，特别擅长统计力学。托尔曼对爱因斯坦的振荡宇宙模型提出质疑，导致这种理论模型在20世纪60年代后不再流行。

【微问题】假如宇宙是个半径为138亿光年的球，那么一个具有临界密度的宇宙，其质量是多少呢？

【关键词】宇宙临界质量密度 大挤压 大撕裂 膜宇宙

⑥



托尔曼（左）和爱因斯坦（右）

历法和古代天文学

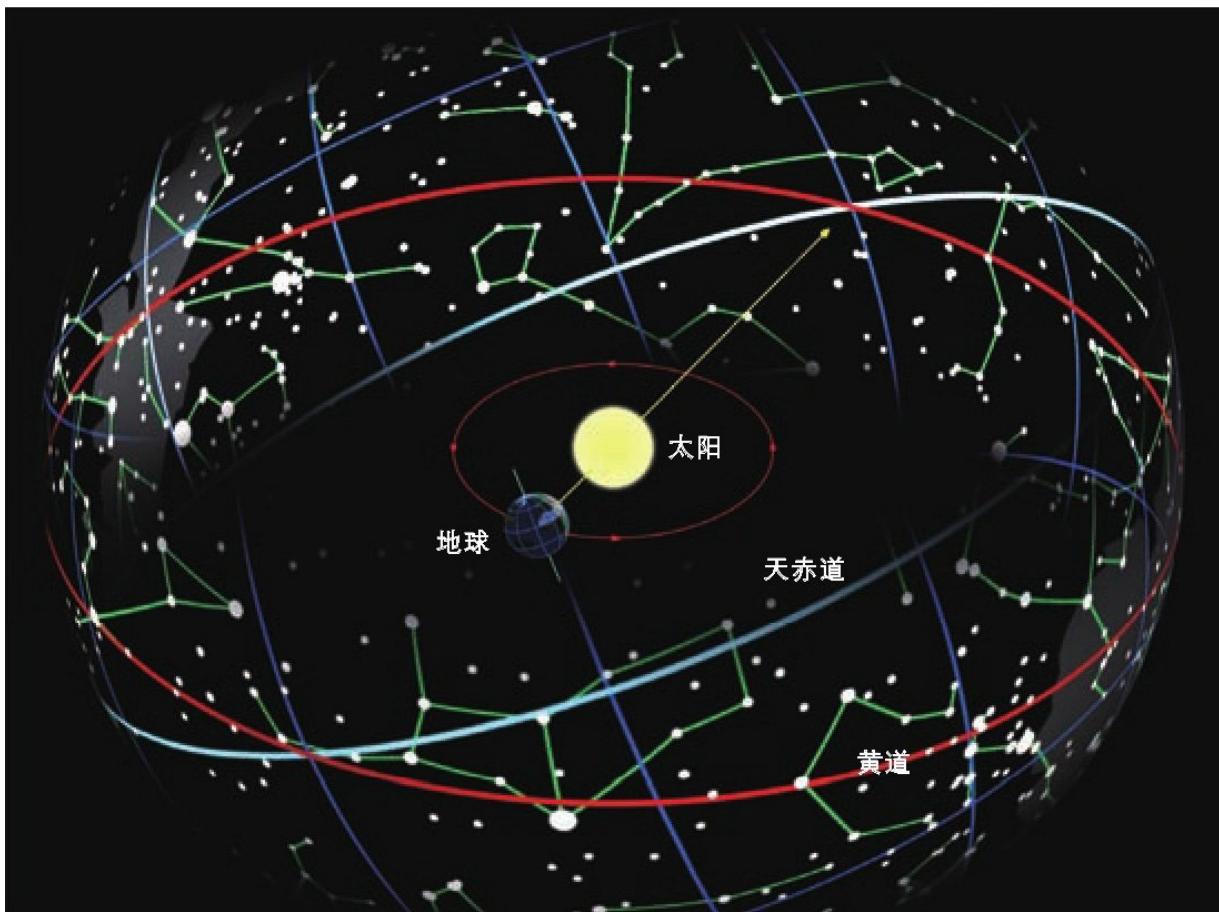
人类为什么需要历法

历法是计量比日更长的时间间隔的法则。通俗地讲，就是计数日子的法则。

在非常遥远的古代，人们就已感觉到一种十分明显的天文现象，即太阳的东升西落和由此造成的昼夜交替，人们顺应这种变化来安排自己的生活和生产，自然而然地过着“日出而作，日落而息”的生活。这样，人们形成了“日”的概念。

可是光有“日”这一种单位是不够的。假如你刚满15岁，有人问你多大啦，你回答“我5478日了”，这会有多麻烦。可见历法中必须有比日更长的时间单位，它们就是“月”和“年”。

最初的“月”是根据月亮的盈亏变化定出来的。“月有阴晴圆缺”，也就是指月相变化，差不多30天一个循环，是一种显著的天文现象，天文学上称之为“朔望月”。



从地球上看，太阳在黄道上运行时，每个月经过一个星座的区域。图中太阳落在双鱼座天区

更重要的是“年”，即四季交替的周期，天文学上称为“回归年”。约1万年以前，人类普遍地进入新石器时代，从以采集和狩猎为主过渡到以农耕和畜牧为主。农民和牧民必须知道时令，也就是季节的变化，才能掌握农作物或牧草和牲畜生长繁殖的规律。因此需要反映四季更迭的周期——年，这个周期长约12个月。可是，要确定年的精确长度就不那么容易了，因为天空中没有一个明确的标志显示年的变化。起初，人们根据四季交替引起的自然现象来定季节，如草地由黄返青，显示春天来到，白雪纷纷扬扬，表明冬季降临。可是，气候现象的发生有很大的不确定性，去年初雪与今年初雪的间隔，不会正好是1年。随着对天象观测的不断深入，到了大约6000年前，古人逐渐认识到太阳在星空背景上1年运行1周，这正是四季变迁的真正原因。于是，他们确定了天空中太阳在恒星背景上运行的轨迹

——黄道，并在黄道上定出了春分那天太阳到达的位置——春分点。古巴比伦人更把黄道经过的天空区域分为12个星座，这就是黄道十二宫的来历。古人通过观测一年里不同时期的星空变化，测定回归年的长度，从起初大约360天，精确到后来的365天。



⑩

13世纪意大利的一幅描绘农业生产的日历

历法中有了“日”、“月”、“年”的单位之后，就有了一个问题：如何协调回归年、朔望月和日之间的安排。回归年通常是指从一年的春分到下一年春分的时间间隔，长度为365.2422日。朔望月是指月亮从一次朔到下一次朔，或从一次望到下一次望的时间间隔，平均长度为29.530 59日。由于回归年、朔望月和日三者之间没有公约数，所以就有了对年、月、日的各

种不同的配合方法，于是产生了各种不同的历法。主要有阳历、阴历和调和两者的阴阳历。

阳历又称太阳历，它以回归年的长度为基本单位，着重考虑如何安排一年中有多少日，现行公历是阳历的典型代表。阴历又称太阴历，它以朔望月的长度为基本单位，着重考虑如何安排1月中有多少日，并规定12个月为1“太阴年”。

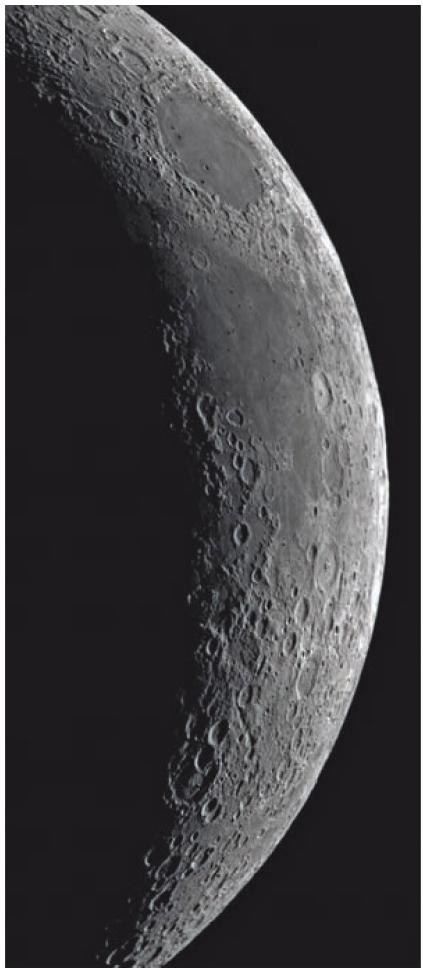
解决了协调“日”、“月”、“年”单位这一历法的基本问题后，原始的物候历便逐渐过渡到这种基于天文观测而编制的天文历。这也是人类历史上产生了真正意义上的天文学的重要标志。（萧耐园）

现在谁还在使用阴历

阴历是根据月相变化制订的历法。一般规定每个月的初一是月朔（即月缺的时候）。这就要求阴历每个月的平均长度尽可能接近一个朔望月。阴历取6个大月（每月30天）和6个小月（每月29天），一共12个月构成1个太阴年。这样一来，1个月的平均长度是29.5天，与朔望月相差0.03059天。经过大约2年半就会相差1天。也就是说，本来初一应该是月朔，过了约2年半，初二成为月朔了。而且只要每过2年半，月朔就要推迟1天。怎样才能制止这种“恶性发展”呢？让我们以伊斯兰历为例来说明。

伊斯兰历是典型的阴历，在信奉伊斯兰教的各国被普遍使用。伊斯兰历的每个月，排定为单数月29天，双数月30天，再在30个太阴年里加入11个“闰日”。这些闰日加在每30年一个循环的第2，5，7，10，13，16，18，21，24，26，29年的12月底，这些年份称为闰年。由于作为双数月的12月是大月，所以增加的1天为12月31日。于是，伊斯兰历平常年份为354天，闰年则有355天。伊斯兰历纪元元年的元旦对应公元622年7月16日。

阴历的优点是适合对潮汐的预测，从而对航海和安排渔业生产有一定



作用。但是，这种历法中平常的太阴年只有354天，然后在30年中再增加11天，即每个太阴年的平均长度仅有 $354+11/30$ 天，即354.3667天，与回归年长度365.2422天相比每年相差达10.8755天，即约11天。于是，只要经过近17年，就会相差公历半年。用这样的历法，如果说原来新年在冬天，那么17年后，新年就跑到夏天去了，也可以说冬天和夏天完全颠倒了。可见，伊斯兰历完全不能反映季节的变迁，这是十分不方便的。事实上，在伊斯兰世界中，这种历法只是用于安排各种宗教活动，如礼拜、节日和祭祀等。为了农牧业的需要，人们依然使用阳历。（萧耐园）

⑩ 阴历是根据朔望月制订的历法



⑪ 土耳其国旗（左）和巴基斯坦国旗（右）上显示的新月形象。这些国家的一些节日用阴历来确定

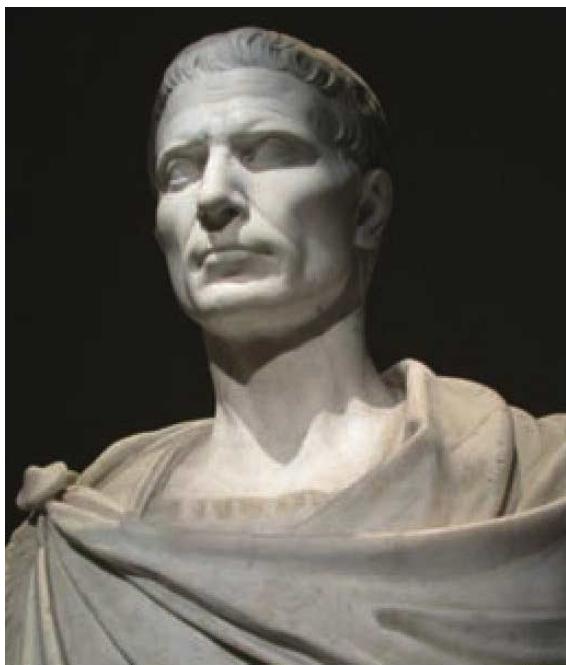
【实验场】验证伊斯兰历为什么能符合月相变化

30个太阴年中，共有 $(30\text{日} \times 6 + 29\text{日} \times 6) \times 30 + 11\text{日} = 10631\text{日}$ 。而30个太阴年，每年12个朔望月的准确天数应为 $29.53059\text{日} \times 12 \times 30 = 10631.01240\text{日}$ 。这表明，在30个太阴年中，两者的差值只有0.01240日，合17分51.36秒。也就是说，在30年里只相差不到18分钟，所以伊斯兰历能够很好地反映月相的盈亏周期。

【微问题】置闰的具体规则是由天文观测确定的，还是人为规定的？

【关键词】历法 阳历 阴历

为什么2000年是闰年，而1900年不是闰年



儒略·恺撒

现行公历是一种阳历。它以回归年的长度为基本单位，只考虑1回归年中有多少日。

公历可溯源到2000多年前的古罗马时代。早先，古罗马的历法相当混乱，法国启蒙思想家伏尔泰曾经说：“恺撒大帝经常打胜仗，但是不知道胜仗是哪一天打的。”公元前59年，古罗马的最高统治者儒略·恺撒邀请古希腊天文学家索西杰尼来改革历法。公元前46年，新的历法颁行，被称为儒略历。儒略历规定冬

至以后10日为一年的元旦，每年12个月，大小月相间，单数月为大月31日，

双数月为小月30日，但2月只有29日。这样1年有365日，称为“平年”。365日比实际回归年少了0.24日，于是每四年设置一个闰年，全年366日。这样，4年的年平均长度为365.25日，只比回归年多了0.0078日，约11分14秒。就当时来说，儒略历已经非常精确了。不过，它依然存在这11分14秒的误差，所以每过128.2年，误差就会多整整一天！

公元325年，尼西亚基督教大会根据儒略历，将每年的春分日定在3月21日，同时规定春分以后的第一个满月之后的第一个星期天为复活节。由于儒略历的误差，到16世纪80年代时，复活节已经落后“实际时间”将近10天，给教会纪念这个宗教节日带来了大麻烦。于是，当时在位的罗马教皇格里高利十三世在1582年颁布了改历命令，规定1582年10月4日以后的一天为1582年10月15日，以便消除多出来的10天。还规定能被4整除的年份为闰年，闰年的2月就增加一天；但是世纪年——也就是末两位数为00的年份，

例如1600、1700、1800、1900、2000、



教皇格里高利十三世

2100年等，只有能被400整除的才是闰年，如上述世纪年中只有1600年和2000年才是闰年，因此每400年中减少了3个闰年。这样，400年的平均年长为

⑧



1982年德国发行的一枚纪念格里历颁布400周年的邮票

$$(365\text{天} \times 303 + 366\text{天} \times 97) \div 400 = 365.2425\text{天}。$$

这与回归年的实际长度只差0.0003天，要经过3000多年，才会累积1天的误差。格里高利颁布的这个新历法就是现行公历，又称新历或格里历。
(施韡)

【微博士】孔子高寿几何

传说曾有一位基督教僧侣制定了以古罗马教皇狄奥克列颠名字命名的历法“狄奥克列颠纪元法”。到了公元532年，又有僧侣迪奥尼西为了推算复活节日期提出了“耶稣诞生在狄奥克列颠纪元前284年”的说法，这就是公元元年，即公元1年的由来。要注意，在公元元年之前，是公元前1年，而没有公元0年。孔子诞生在公元前551年，所以2010年是孔子诞辰2560年。许多地方在2009年庆祝孔子诞辰2560周年，显然是犯了错误。

为什么公历2月只有28天

古罗马执政官儒略·恺撒在设置公历时，把一年设为12个月，逢单是大月，设31天，逢双是小月，设30天。这样一年就是366天，比回归年多了一些，于是就从2月中扣去一天，只剩29天。据说因为2月是对死刑犯行刑的月份，恺撒认为不吉利的天数少一点为好。由于他自己的生日在7月，所以7月就以他的名字“Julius”命名，这便是英文名称“July”的来历。这个历法被称为儒略历。

公元前44年，恺撒死后，其养子盖乌斯·屋大维继位，被尊称为“奥古斯都”大帝。奥古斯都在公元14年8月逝世，罗马元老院把8月改为他的名字“Augustus”，并将其改为大月，再将后面几个月重新规定为9月小、10月大、11月小、12月大。这样一来，一年又多出一天，于是再把不吉利的2月扣掉一天，这样平时2月就只有28天了。到了闰年，2月加一天成为29天。

(施韡)

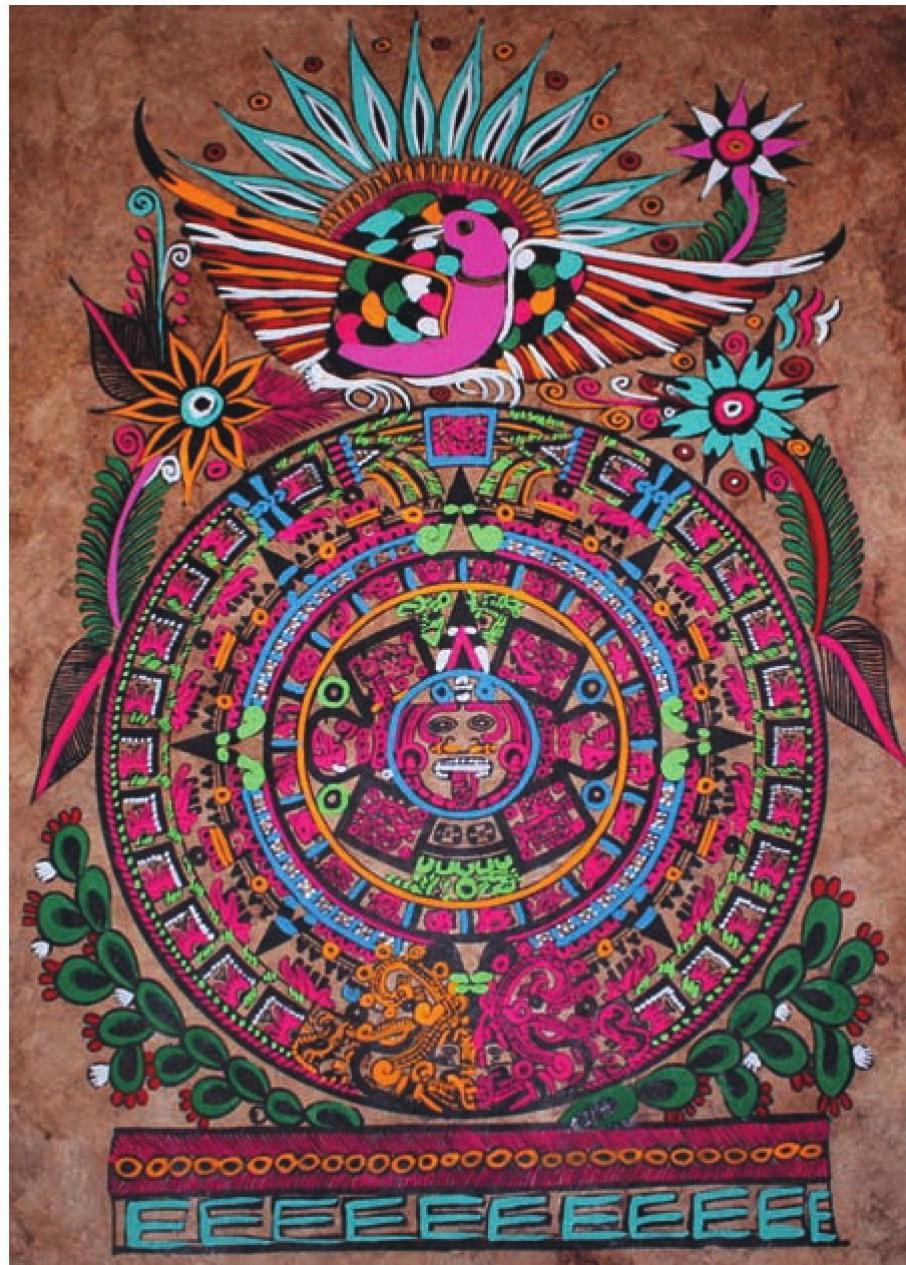


®

玛雅人的神庙，同时也是测定太阳方位和高度的天文建筑

为什么说玛雅人的历法知识达到了相当高的水平

玛雅文化是世界重要的古文化之一，约4000年前兴起于美洲墨西哥、危地马拉的太平洋海岸，后发展于今墨西哥的尤卡坦半岛和中美洲的一些地方（包括今天的伯里兹、危地马拉的大部分地区、洪都拉斯西部和萨尔瓦多的一些地区）。所谓“玛雅历”来自从危地马拉出土的一块石碑上的文字，破译后发现那是对历法的描述。石碑上说我们正处在“第五个太阳纪”，而且行将结束。结束的日期换算成现在的公历日期，是2012年12月21日，有人就说这是“世界末日”。其实“玛雅历”和其他历法一样，都是周而复始地循环的。“太阳纪”是个非常长的周期，长达 25×800 年。这个周期并不代表文明结束甚至地球毁灭，而是地球自转轴进动的自然周期。能认识这个周期，说明玛雅人的天文历法知识已经达到了相当高的水平。（施韡）



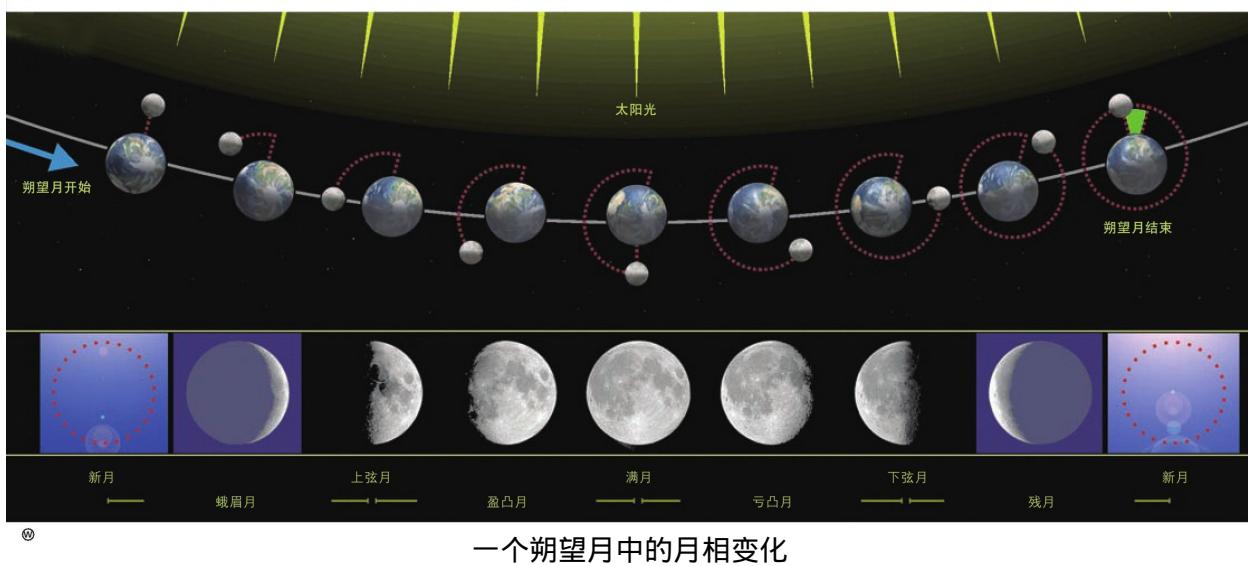
④

记录玛雅历法的“太阳石”图案

【微问题】公历的“一天”从哪里的零时开始算起？

【关键词】回归年 儒略历 格里历 公历

为什么中国农历的闰年要多一个月



中国的农历是一种阴阳历。阴阳历是结合了阴历和阳历的历法，它以朔望月作为历法中月的单位，又使历年平均长度尽可能接近回归年的长度。为此，在某些年中加进1个整月，以使若干年内的平均年长接近回归年。添加的这个月份称为“闰月”，加有闰月的这一年称为“闰年”，阴阳历的闰年有13个月。中外的阴阳历都有“19年7闰”的原则，也就是在19年中加进7个整月，使得19个阴阳历年日数与19个回归年的日数相当接近。因此，添加闰月是阴阳历中的阳历成分。

阴阳历的年长有时354日（或355日），有时384日（或385日），与公历日期和节气相对应的阴阳历日期不固定，使用起来很不方便。例如，中国农历的大年初一，即春节，有时在公历的1月下旬，有时在公历的2月上旬或中旬，前后相差几乎可达1个月。因此就可以理解，为什么农历有时一年里都没有立春这个节日，有时又有两个立春。

例如，农历某年春节在公历的2月6日，因为立春基本固定在2月4日，所以以这个春节开始的农历年的起初没有立春；如果这个农历年不是闰年，那么这年的农历除夕便落在公历下一年的1月下旬，正在立春之前，所

以这个农历年的年尾也没有立春。于是，这个农历年里就没有立春。

相反的情况是，农历某年春节在公历的1月下旬或2月初（立春之前），而且这个农历年适逢闰年，那么这年的大年三十便落在公历下一年的2月中旬，已在下一年的立春之后。于是，这个农历年的年头和年尾就各有一个立春，就是俗称的“两头春”。（萧耐园）

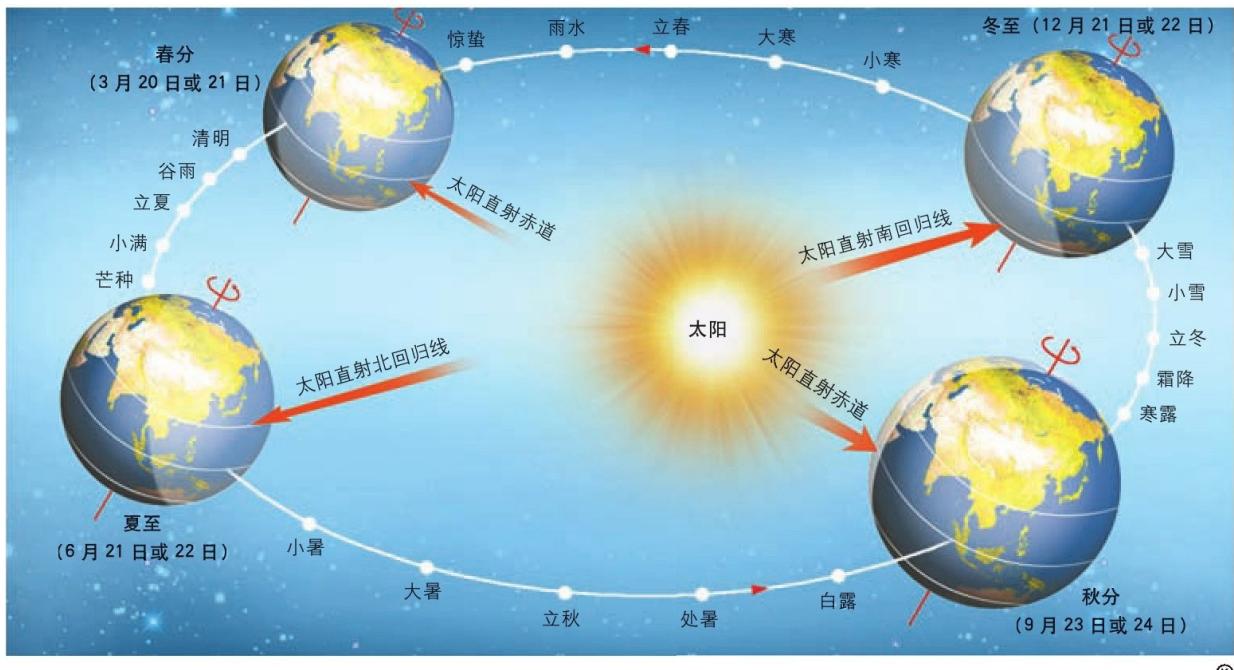
为什么说二十四节气属于阳历

中国的农历中有二十四节气。许多人把中国的农历说成阴历，因而也认为二十四节气是属于阴历的。其实，这是一种错误的认识。农历并不是阴历，而是阴阳历，二十四节气是其中的阳历成分。从中国西汉时期开始，人们把一回归年按时间平均分成24等份，设置了二十四节气。到了唐朝，人们已经发现太阳在黄道上运行的速度不均匀，便把黄道从春分点开始等分为24份，每份 15° 。太阳在黄道上自西向东每运行 15° ，作为一个节气。这种划分二十四节气的方法更加科学和合理，一直沿用至今。由于二十四节气与阳历的一年都反映了太阳在黄道上运行一周，所以二十四节气与公历的日期有严格的对应性。

二十四节气是古代中国人的独特创造，人们可以依据节气来安排各项农事活动。二十四节气中又分出12个“中气”，从春分开始，每隔一个节气就是一个中气，在表中用蓝色表示。

节气	公历日期	节气	公历日期	节气	公历日期
春分	3月 20(21) 日	大暑	7月 22(23) 日	小雪	11月 22(23) 日
清明	4月 4(5) 日	立秋	8月 7(8) 日	大雪	12月 7(8) 日
谷雨	4月 20(21) 日	处暑	8月 22(23) 日	冬至	12月 21(22) 日
立夏	5月 5(6) 日	白露	9月 7(8) 日	小寒	1月 5(6) 日
小满	5月 21(22) 日	秋分	9月 23(24) 日	大寒	1月 20(21) 日
芒种	6月 5(6) 日	寒露	10月 8(9) 日	立春	2月 4(5) 日
夏至	6月 21(22) 日	霜降	10月 23(24) 日	雨水	2月 18(19) 日
小暑	7月 7(8) 日	立冬	11月 7(8) 日	惊蛰	3月 5(6) 日

二十四节气还可以用来置闰。早在中国西汉时期，已经规定没有中气的月份为上一个月的闰月。那么，有些月份为什么会有两个中气呢？须知农历的月份，不是29天就是30天，而两个中气之间的间隔有时长于30天。例如农历某年的五月三十是谷雨，隔月的初一才是小满，那么这年五月后面的这一个月里就只有立夏这个节气，却没有中气。于是这个“不正常的”月份就不叫六月，而成了闰五月。再后面的一个月才是六月，由此往后每个月份又都既有节气又有中气了。这种“正常的”状态可以持续两年多，直到再一次置闰。没有中气的月份为闰月，这个置闰法一直沿用至今。（萧耐园）

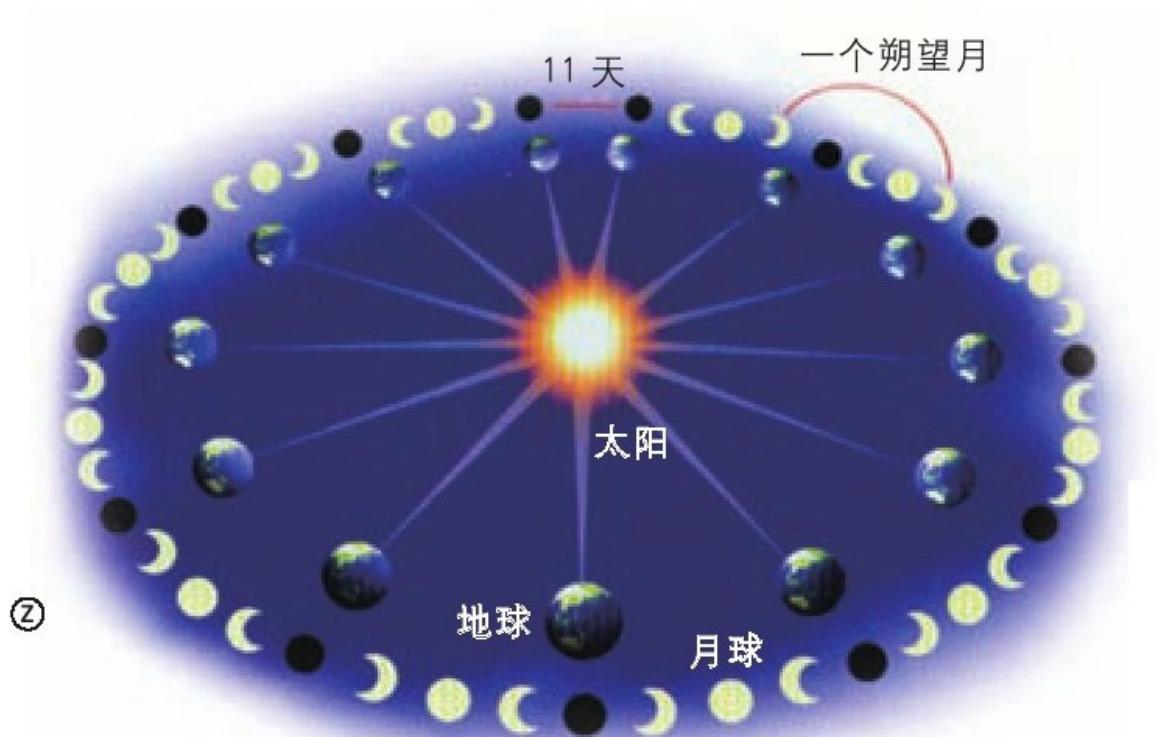


二十四节气示意图

®

为什么农历没有闰春节

如果农历有闰正月，我们就有两个春节了！可惜从来没有这样的好事。事实上，农历非但没有闰正月，连闰十一月和闰十二月都没有。因为地球环绕太阳的公转运动在公历1月3号（过近日点）前后速度最快。而太阳在星空背景上的运行正是地球公转的反映。因此，在1月3号前后，太阳在黄道上的移动速度也最快，以至于每过1个节气，即每运行 15° ，只需14天左右。这样，两个中气之间的间隔比一个阴历月份还短，所以决不会出现没有中气的月份。农历的十一月、十二月和一月，大致相当于公历的12月、1月和2月，这些月份，正是地球公转速度最大的时候。在这些月份没有农历的闰月也就容易理解了。（萧耐园）



阳历的1年比12个朔望月多11天，而二十四节气是根据回归年划分的

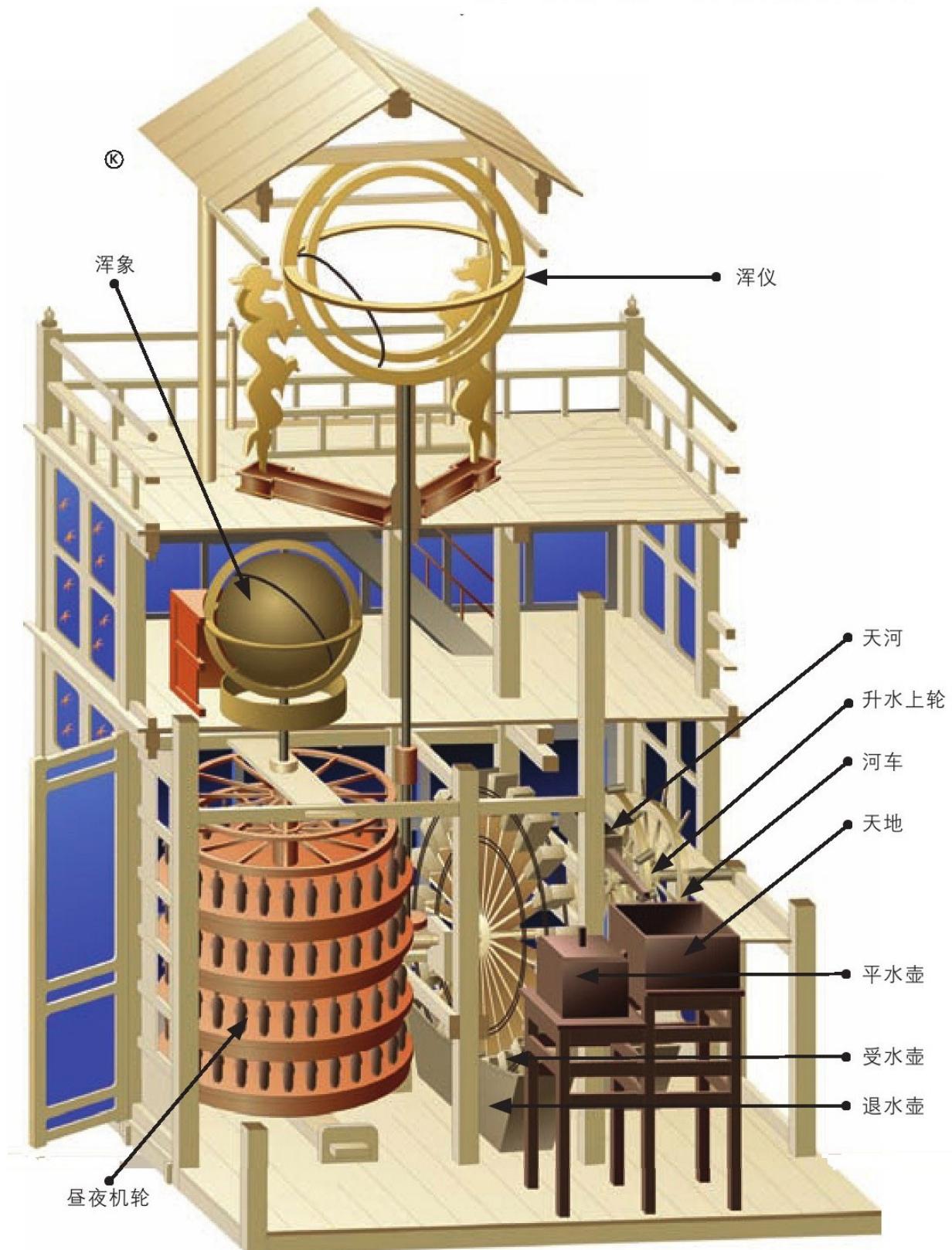
【微问题】农历在日常生活中有什么与众不同的特殊作用？

【关键词】农历 阴阳历 置闰 节气

古代中国人为世界天文学贡献了什么

古代中国人对世界天文学的贡献很多。总体上可以归纳为三句话：卓越不凡的古典天文仪器，不断更新的古代天文历法，丰富而系统的古代天象记录。

一、卓越不凡的古典天文仪器。距今3000多年前，中国最古老的天文仪器圭表就已诞生。它一般由直立放置的高8尺的“表”和沿正南北方向水平放置的“圭”构成。冬至日正午时，表在圭面上的日影最长，利用这点可以精确确定冬至日。将某年的冬至日与上千年前的冬至日比较，以相隔的日数除以年数，可以获得十分精确的回归年长度。



水运仪象台

北宋的苏颂、韩公廉（11世纪末）制成了水运仪象台。它高12米，宽约7米，分为三层。上层是浑仪，它的屋顶可以掀开进行天文观测；中层是浑象，即古代的天球仪，装有齿轮，由动力装置驱动每天旋转一周；下层前部是报时机构，有巧妙的木偶小人出入报时，后部是水力驱动机构。水运仪象台的驱动机构有一个直径约3米的大枢轮，上面有等间距的36个水斗。漏壶中漏出的水注入水斗，注满后枢轮转动，枢轮顶部的擒纵装置控制它一次只能转过一个水斗，让新的空水斗继续注水，从而形成等间隙转动。枢轮转动带动贯通上中下三层的传动轴，使各部分同步运转。金兵攻入北宋都城后，水运仪象台被损坏再也未能修复。

②



登封测景台

②



陈列在中国科学院紫金山天文台的简仪

到了元代初期，郭守敬研制出高4丈的“高表”和很长的圭面。为使太阳照射高表顶端的横梁影子清晰可见，他又发明了景符（一个装在坐架上可移动的中间有小孔的铜叶），利用针孔成像原理能把横梁平分太阳像的影子留在圭面上，从而能精确定出中午时太阳的地平高度。利用这种高表、景符的原理，郭守敬还建成了留存至今的登封测景台。

除高表、景符外，郭守敬还发明了简仪等多种天文仪器。简仪有上下两套环圈，分别是赤道经纬仪和地平经纬仪，另外还有一个测量时间的日晷。每个环的一侧都设有使用肉眼瞄准天体的装置，由两位观测者在夜晚观测同一颗星，便可立即测得它的赤道坐标和地平坐标。郭守敬简仪的测量精度可与300年后丹麦天文学家第谷的古典天文仪器相媲美，而郭守敬发

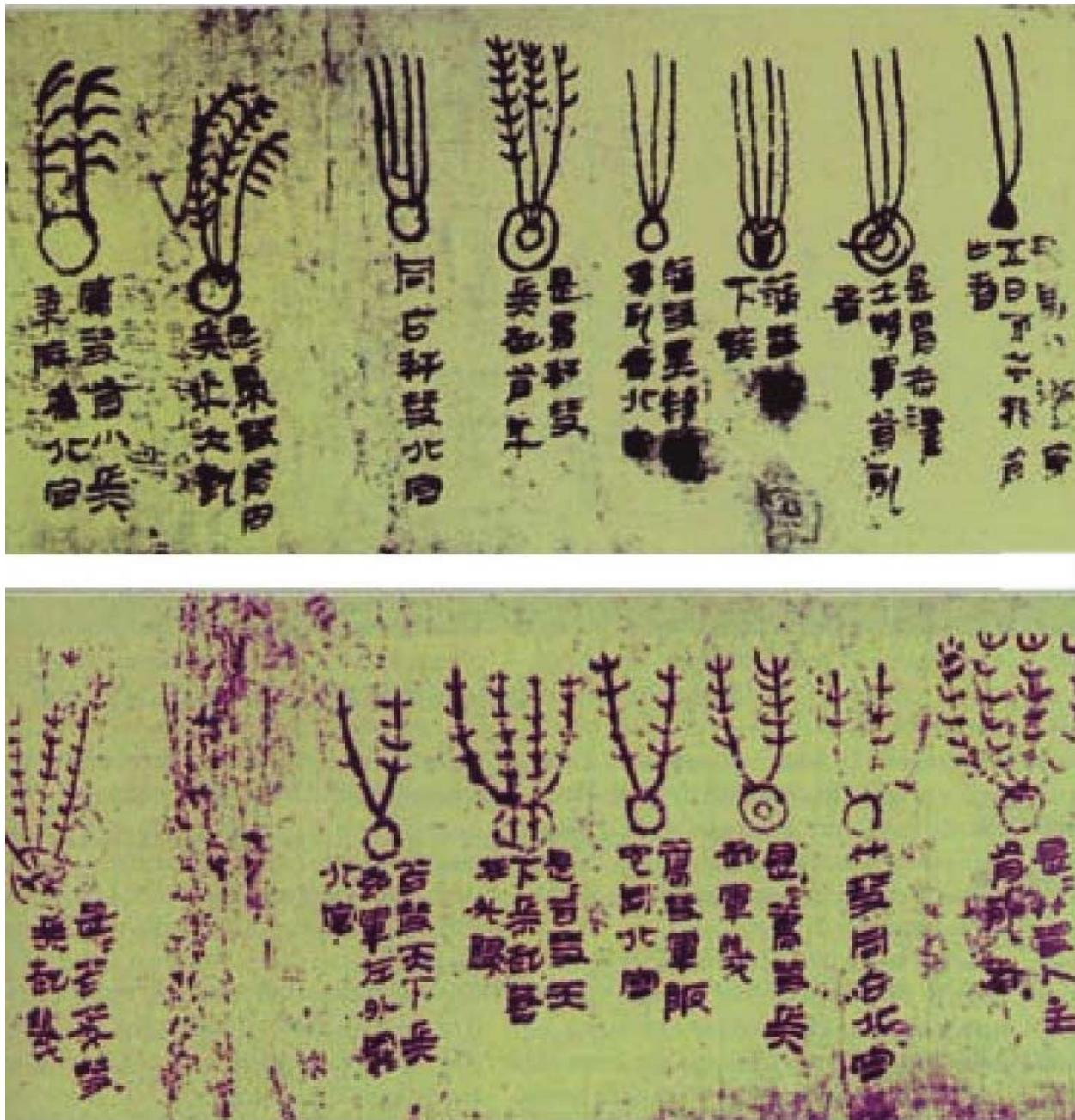
明的高表、景符利用了针孔成像原理，使太阳的定位精度达到了 $0.5'$ ，比第谷的定位精度要高好几倍，这是中国人为世界天文学作出的一大贡献。

二、不断更新的古代天文历法。中国古代的历法是阴阳合历，它与其他文明古国的历法有一个重要不同。后者以推算民用历谱、安排历日为基本内容，中国古代历法不仅包含这些基本内容，而且还涉及日、月、五星的位置和运动、日食和月食的预报等多方面的内容。可以说，中国古代的历法编算工作，其性质有些类似于现代编算天文年历的工作。

中国古代，每个新王朝都要颁布自己的新历法。此外，当发现历法不准时也要改历。因此中国古代的历法一直在不断更新之中。中国古代先后制订的历法有上百部之多，其中最著名的有《大明历》、《大衍历》和《授时历》等。魏晋南北朝时期刘宋大明六年（462年），祖冲之编制的《大明历》是第一部引进了岁差（春分点每年在天空中缓慢移动）的历法。唐代天文学家一行领导了中国首次大规模的天文大地测量，并在此基础上于开元十五年（727年）编成著名的《大衍历》，该历的回归年长度取为365.2444日，朔望月长度取为29.53059日，在当时堪称精确。元代初期，郭守敬和王恂等人领导了更大规模的天文大地测量，在此基础上创制了中国古代最精确的历法《授时历》，至元十八年（1281年）颁行，明代的《大统历》本质上就是《授时历》，这两种历法加起来行用达364年，是中国古代行用最久的历法。《授时历》定回归年长度为365.2425日，和真实的回归年长度只差20余秒，它和国际通用的公历——格里历的回归年长度完全一样，但问世早300年，这是一项了不起的成就。

三、丰富而系统的古代天象记录。中国古代的天象记录非常丰富。早在公元前2世纪，中国人就开始对彗星进行分类。在长沙马王堆三号汉墓出土的帛书中，就有29幅彗星形态图。在扣除对同一彗星的重复记录后，中国古代的彗星记录达1500次之多，还拥有哈雷彗星29次回归的连续记载，世界上没有别的国家有如此丰富而系统的彗星记录。人们探讨近2000年来出现过的超新星，发现中国古代都有相关的记录，其中世人普遍关注的1054年超新星，在中国更有十分详尽的记录。此外，中国古代在日食和月

食、太阳黑子和极光、流星和流星雨等方面也都有详尽而系统的记录。
(宣焕灿)



①

马王堆出土帛书上记录的彗星

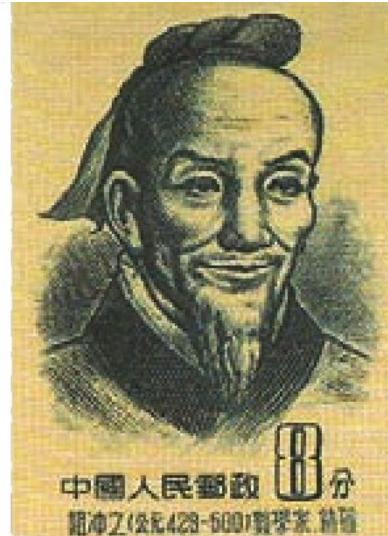
【科学人】祖冲之

祖冲之（429—500），中国南北朝时期著名数学家和天文学家，在数学上最突出的贡献是推算出圆周率的不足近似值为3.1415926，过剩近似值为3.1415927，这是当时世界上最先进的数学成果；在天文学上最出色的成果是创制了第一部计及岁差的先进历法《大明历》。

【科学人】郭守敬

郭守敬（1231—1316），中国元代著名天文学家和水利专家。发明了高表、景符、简仪、仰仪、正方案等10多种天文仪器，组织了规模空前的天文大地测量工作，编算和制订了中国古代最优秀的历法《授时历》。

①



①

【微问题】中国古代的天文学家与西方有什么交流？

【关键词】天文仪器 天象记录 历法

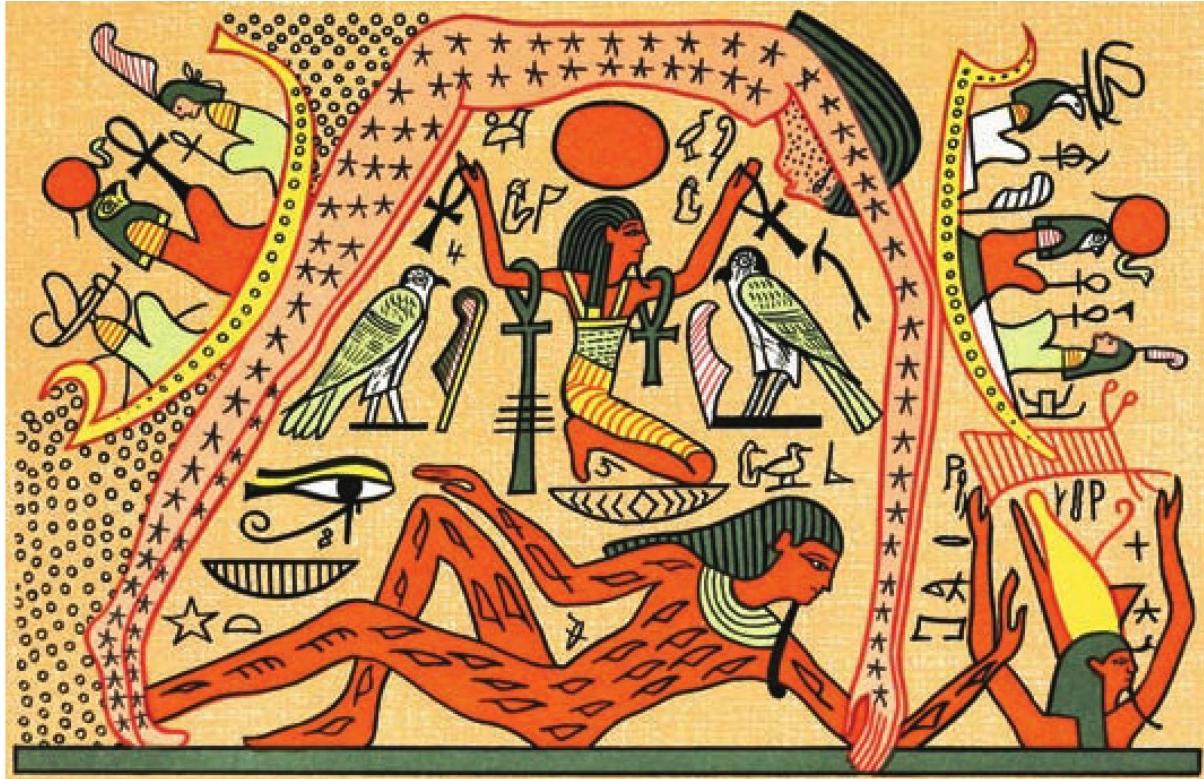
古人心目中的宇宙图像是怎样的

自古以来，人们就在追问和思考宇宙的生成和结构问题，这些思考以神话的形式流传下来。虽然今天看起来很幼稚，却是古人对自然进行观察和探索的可贵结果。

7000年至2500年前，尼罗河流域的古埃及、两河流域的巴比伦、黄河流域和长江流域的古代中国、印度河和恒河流域的古印度，出现了世界上最早的四大文明古国。这四大文明古国的先民，对宇宙的结构提出了多种朴素但还相当幼稚的见解。古希腊城邦时期的泰勒斯所提出的宇宙图像也具有类似的特点。

在古埃及，人们把宇宙看成一只硕大的盒子，天像盒子的顶，它有若干根柱子分架在几座高山顶上，星星像一盏盏吊灯从天上悬挂而下，大地是盒子的底，它呈现为稍凹的结构。地中海在群山环抱之中，它的一侧有一大片陆地，其中就有他们所居住的埃及。

古埃及人传说宇宙是这样产生的：女性的天神努特和男性的地神盖伯起初共处于原初的水中，后来其中又出现了空气和阳光之神煦。煦用两手将天神的中部高高托起，而天神就张开两手和两脚支撑自己，最后变成了满布星星的穹隆状的天，而横躺着的地神盖伯则变成了大地。太阳神乘船自东向西在宇宙之水中运行，人们便看到了太阳在天空中东升西落。

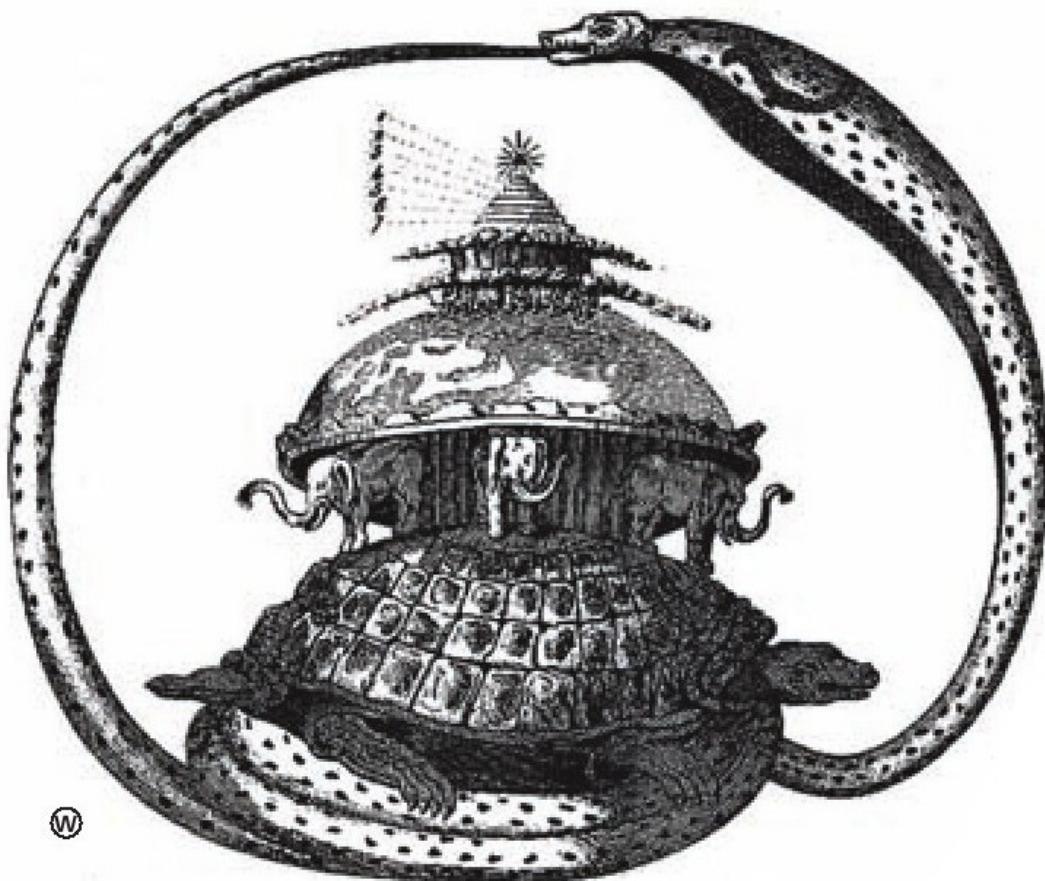


◎

古埃及人的宇宙图景。女性的天神身上布满了星星，横躺着的男性地神就是大地

两河流域的巴比伦文明在今伊拉克境内，在公元前3000多年至前500多年的漫长岁月中，此处占统治地位的民族和所建立的国家多次更迭。公元前626年至前539年由迦勒底人建立起新巴比伦王国，他们提出了如下宇宙图像：大地是一座中空的巨山，它依托在海水之上；天空是一个静止而坚固的穹隆，浮在一片茫茫的大海上；架着天穹的东西两端，各有两根巨大的管子，太阳每天早晨从东侧的管子升到天上，傍晚又从西侧的管子落下，翌日早晨再现于东侧。

古印度的疆域覆盖现今的印度、巴基斯坦和孟加拉三国。距今约3000年前，古印度人也提出了他们的宇宙图像，认为大地负在几头大象上，而大象则站在巨大的龟背上。



古印度人的宇宙观：大地负在大象上，上有七重天；大象站在龟背上

古希腊文明可以追溯到公元前2000多年前。公元前8世纪至前5世纪，古希腊人在本土和地中海四周移民区先后建立了许多独立的城邦，史称古希腊城邦时期。小亚细亚的米利都（今属土耳其）当时也是一个独立城邦，该城邦中的泰勒斯曾去古埃及和巴比伦学习天文学，他是古希腊的第一位学术泰斗。在宇宙观念上，他提出大地的形状犹如一个圆盘，像木块那样漂浮在宇宙的海洋之中，宇宙海洋中蒸发出的湿气滋养着地上的万物，也滋润着环绕大地运行的日月星辰。

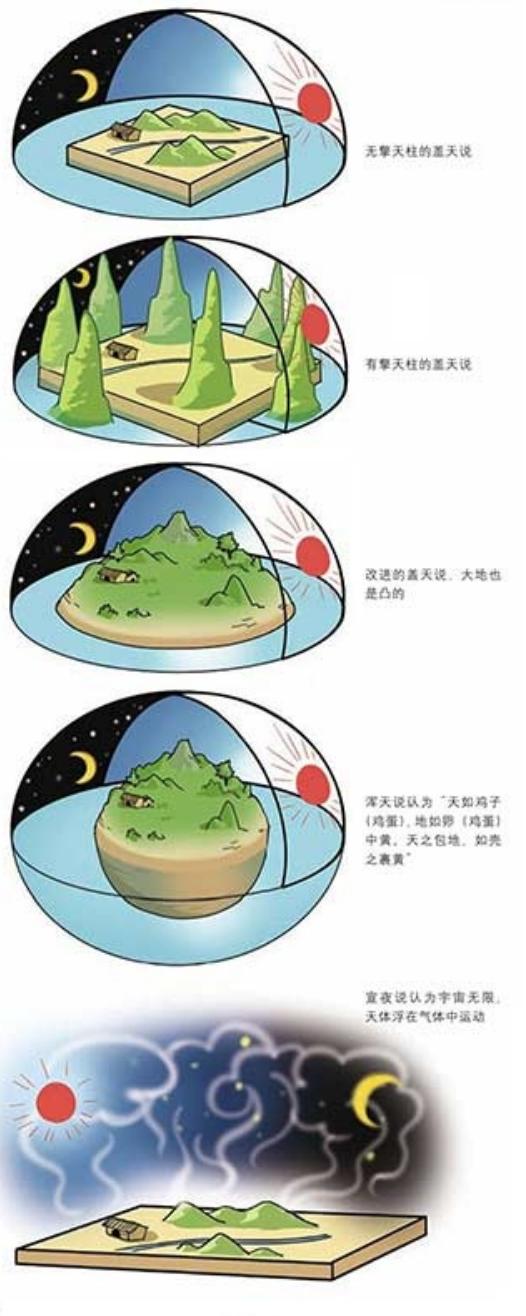
古代中国的西周时期，已出现“天圆如张盖，地方如棋局”的见解，把天穹看成像一口倒扣着的锅，平直的大地像棋盘一样被这口大锅笼罩着，这是中国古代最早的天圆地方说。这以后，古人又把天地的结构看成形如一座巨型凉亭，其顶部是盖笠状的天，底部是平坦的大地。但这样的结构

也不能令人满意，战国时期，诗人屈原（约前340——约前278）就在他的不朽长诗《天问》中发问：“斡维焉系？天极焉加？八柱何当？东南何亏？”郭沫若将这几句译成了现代诗：

这天盖的伞把子，
到底插在什么地方？
绳子，究竟拴在何处，
来扯住这个帐篷？
八方有八根擎天柱，
指的毕竟是什么山？
东南方是海水所在，
擎天柱岂不会完蛋？

可能始于战国时期的浑天说比盖天说进了一步，认为天是一整个圆球，地球在其中，就像鸡蛋黄在鸡蛋里面那样。

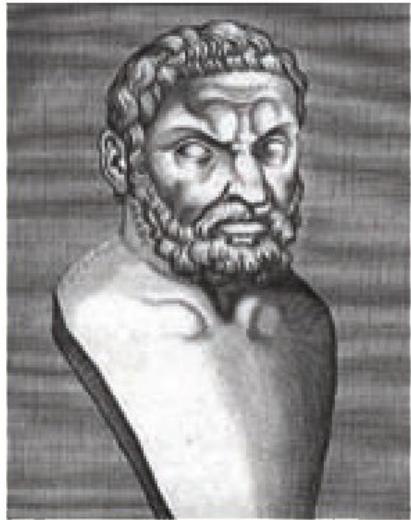
古埃及人、中国古人、迦勒底人和古印度人，直至古希腊泰勒斯的宇宙图像，虽然原始而幼稚，却有一个共同特点，即已经摒弃在此之前用神话来阐释宇宙的生成和结构的见解，而进入了从物质世界本身来探讨宇宙结构的新时代，只是还局限于把直观所见的天地形态当作宇宙的真实结构。在古希腊，正是这一重要特点推动了宇宙结构认识上的突飞猛进。在泰勒斯之后的半个多世纪至两个半世纪，就由毕达哥拉斯（前560—前480）和亚里士多德（前384—前322）等人提出了当时很先进的大地是球形的观念。（宣焕灿）



中国古代主要的宇宙图景：盖天说、浑天说和宣夜说

【科学人】泰勒斯

泰勒斯（约前624—前547），古希腊最早的唯物主义哲学家，提出水是万物的本原，万物由水形成，解体后又复归于水。相传他曾预言公元前585年5月28日的一次日全食，还对初等几何学的开创做出过重要贡献。



【微问题】为什么很多文明都有穹状天幕的观点？

【关键词】古人的宇宙观 盖天说 浑天说

⑩

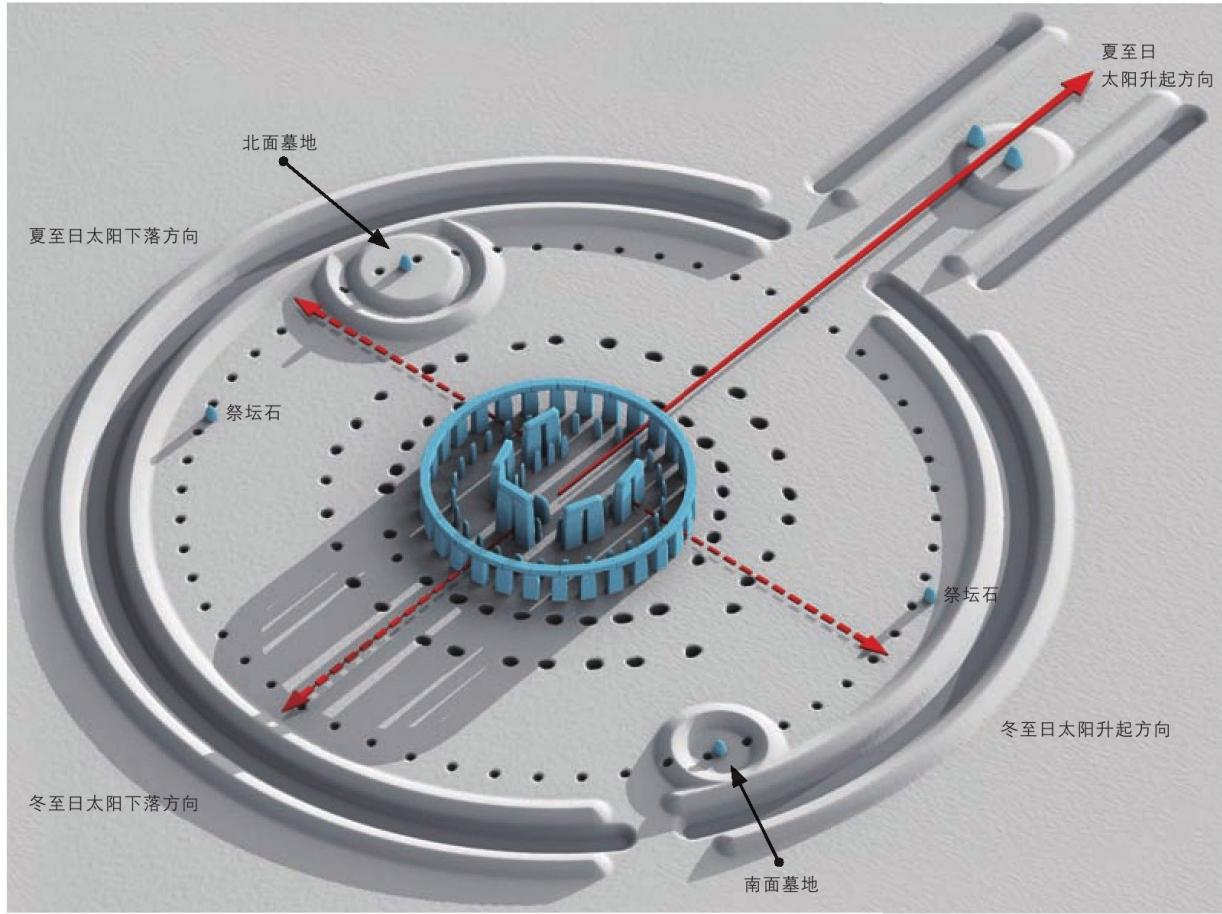
为什么远古的人们要建造巨石阵

巨石阵是位于英国英格兰南部索尔兹伯里平原上的史前时期巨石建筑遗址。它是在公元前1800至前1400年间，由当地的古代居民柏克人前后相隔几个世纪分三次陆续建造而成的。



英格兰南部索尔兹伯里平原上的巨石阵

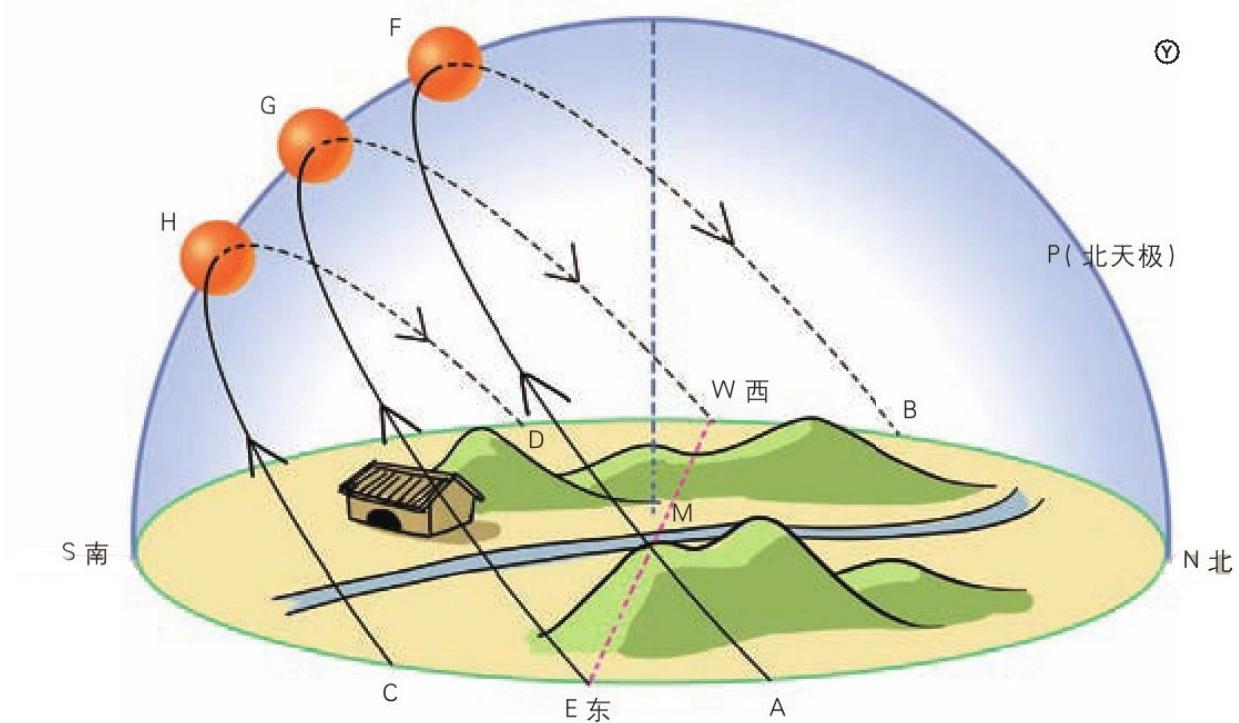
巨石阵的建造十分困难，远古的人们为什么要建造它？约在18世纪，已有人注意到巨石阵中存在一些有天文意义的指向线。20世纪初期，英国天文学家洛克耶对巨石阵进行深入的研究，明确提出它是史前时期人们依据日出或日落的方位来判断季节的标志物。



电脑制作的巨石阵复原图

天文学告诉我们，春、夏、秋、冬不同季节，太阳升落的方位以及每天在天空中走过的路径不同。图中E、W、S、N是地平圈NESW上东、西、南、北4点，P点代表北天极，图中央的M点代表观测者。不同季节太阳在天空中走过的路径不同：夏至时，太阳在地平圈上东北方向的A点升起，而在地平圈上西北方向的B点下落，在天空中走过的路径为AFB,F点是夏至日中午时太阳在天球上所处的位置；春分和秋分时，太阳在正东方向E点升起，而在正西方向W点下落，在天空中走过路径EGW,G点是春分日和秋分日中午时太阳在天球上所处的位置；冬至时，太阳在东南方向的C点升起，而在西南方向D点下落，在天空中走过路径CHD,H点是冬至日中午时太阳在天球上所处的位置。

不同季节太阳从不同的方位升起和下落



在公历中，春分、夏至、秋分、冬至的日期相当固定。在图中，夏至时太阳从地平圈上A点升起，接着太阳升起点逐渐沿地平圈向南移动，直至冬至时太阳从地平圈上C点升起为止；此后太阳在地平圈上的升起点又沿反方向逐渐向北移动，直至下一年的夏至再次从A点升起，如此反复循环下去。太阳在西方地平圈落下，情况也与此类似。

远古的人们在长期的农牧业生产和生活实践中，对季节和太阳升落方位的关系积累了不少知识。在建造巨石阵时，这种知识也就融入其中。巨石阵与朝阳东升的方向密切相关，巨石阵的主轴线方向正好是夏至日太阳升起的方位，而它的反方向正好是冬至日太阳下落的方向。洛克耶通过对巨石阵的研究还进一步指出：从巨石阵中心望去，有一块巨石正指向夏至前后各约一个半月的5月6日和8月8日的日落位置，而另一块石头则指向冬至前后各约一个半月的11月8日和翌年2月5日的日出位置。由此他推论建造巨石阵的时代已有将一年分为8个节气的历法，从5月6日起算，这8个节气对应于中国二十四节气中的立夏、夏至、立秋、秋分、立冬、冬至以及翌年的立春和春分。



⑩

美国怀俄明州的“魔轮”

除英格兰的这一巨石阵外，世界不少地方也发现了类似的巨石阵和其他史前古迹。例如，美国怀俄明州的“魔轮”，它位于该州北部的比格霍恩山中，是史前时期的印第安人建造的。其结构是一个在地面上用石块排成的直径约25米的不标准圆轮，其中心有一个直径约4米的圆锥形石堆。从该石堆向外有28根用石块排成的参差不齐的辐条一直伸向圆轮边缘，圆轮的外侧较均匀地分布着6个较小的圆锥形石堆，每个都呈直径1米多的空心圆圈状，其中有一个石堆（图中的石堆E）位于圆轮之外约4米处。研究者发现，该魔轮中有着某些天文指向线，例如图中的石堆E和中心石堆O的连线指向夏至日太阳升起的方向，而石堆C和石堆O的连线则指向夏至日太阳下落的方向。魔轮很可能是古印第安人进行宗教活动的场所，但部落的头领也可能利用这些天文指向线来确定节令，指导部落的生产活动。

距今1700年至1100年前，位于中美洲的玛雅人处于他们文明的鼎盛期。他们建造了不少梯级金字塔，往往既是祭祀神灵的神坛，也是祭司们进行天文观测的场所。那些较小的梯级金字塔稍远处还围绕着若干个庙宇，从金字塔上的观测点向东方的一座庙宇望去，就是春分、秋分日出的方向；向东北方的庙宇望去，就是夏至日出的方向；而向东南方的庙宇望去，就是冬至日出的方向。

巨石阵、魔轮和玛雅金字塔有一个共同的特点，即都拥有若干与太阳升落有关的天文指向线。这表明这些古迹的建造者们试图确立某种原始的历法，以满足生产和生活的需要。（宣焕灿）

【科学人】洛克耶

约瑟夫·洛克耶（1836—1920），英国著名天文学家。在1868年与法国天文学家让桑各自独立地同时开创了日珥观测的新方法，翌年他又率先发现太阳上存在元素氦，这种元素在26年后才在地球上找到。他深入研究了巨石阵，并创办了著名的科学杂志《自然》。

【微博士】山西襄汾陶寺天象观测遗址

1978年，中国考古学家在山西襄汾陶寺镇发现了4000多年前尧都城的遗址。后来进一步发现了该遗址中的一个古代天象观测点，以及它东侧一堵由13个夯土柱痕迹组成的环状弧，柱与柱之间还有近20厘米宽度的狭缝痕迹。2003—2005年，考古学家和天文学史家复原了呈环状弧的立柱以及立柱间的狭缝，并观测了不同日期太阳穿过不同狭缝升起的情况。他们据此提出，尧的时代曾采用一种将全年分为20个节气的十月历（每年10个月的一种阳历，每个月36天，年终再加5~6天的祭祀日）。学者们所作的模拟观测表明，陶寺天象观测遗址可说相当于一个中国的“巨石阵”。

【微问题】巨石阵是怎么建造的？

【关键词】巨石阵 陶寺天象观测遗址

为什么古希腊人能测出日月地三者大小之比

2300多年前，古希腊学者亚里士多德明确指出大地是球形的。2200多年前，古希腊天文学家阿利斯塔克又测量了日、月、地三者的大小之比。

阿利斯塔克因最早提出日心地动说而被后世誉为“古代的哥白尼”。他的著作大多已佚，仅存《论日月的大小和距离》一书。阿利斯塔克测量日、月、地三者大小关系的思路可以归纳为以下三步：

第一步，测量月地距离与日地距离之比。

在月亮上弦或下弦时，月亮M的明暗交界线与月地方向的连线ME一致；月亮靠太阳S的照射而发光，所以日月的连线SM与地月的连线EM相垂直，即图中 $\angle SME=90^\circ$ 。图中日月方向SM和日地方向SE之间的交角为 α ，地月连线与地日连线的夹角 $\angle MES=90^\circ-\alpha$ 。测出这个角度后，月地距离ME和日地距离SE之比便可求得。

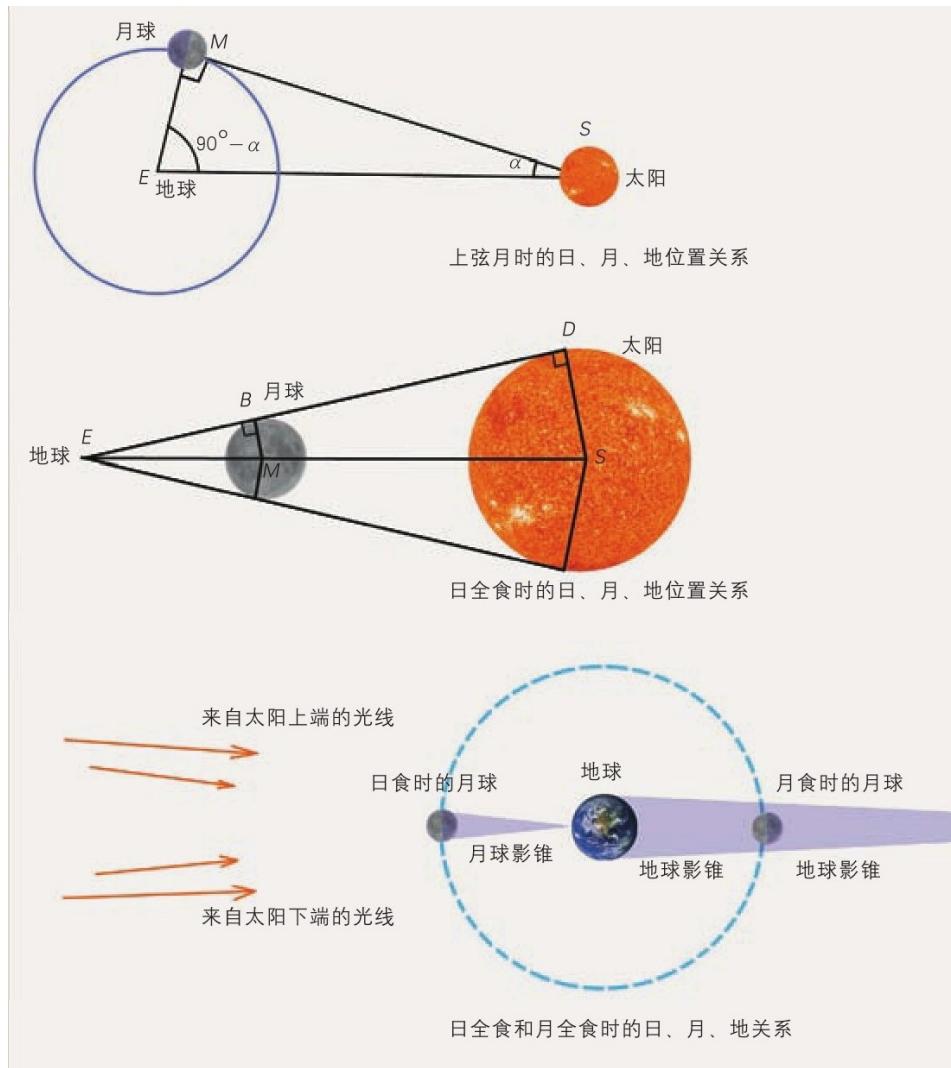
第二步，由日地距离与月地距离之比求日、月的大小之比。

在天穹上，太阳与月亮的角直径几乎相等，因而日全食时，月亮的视圆面往往正好挡住太阳圆面，也就是说在图中，全食带中的观测者E看到月面边缘的B点与日面边缘的D点重合，而月面中心的M点与日面中心的S点重合，即 $\triangle EMB$ 与 $\triangle ESD$ 为相似三角形。于是，日地距离与月地距离之比等于日月的大小之比，而图中已求得前一比值，故日、月大小之比便可求得。

第三步，推算地月大小之比。

图的左端，日全食时月亮的影锥顶端几乎刚好到达地面，这表明月亮影锥在经过地月这段距离后，正好减少了一个月球直径；再看该图的右端，若月全食时月球正好从地球影锥的直径处穿过，可测出月亮轨道处地

球的影锥为 n 个月球直径，并近似假定地球影锥在穿过地月距离后，近似地也缩小了一个月亮直径，于是地球直径便是 $n+1$ 个月亮直径。这项测量与上面日月大小之比的测量联系起来，便可获得日、地、月三者的大小之比。



阿利斯塔克测量日、月、地三者大小关系原理图

阿利斯塔克的方法十分巧妙，整个思路无懈可击，但是要精确定出月亮的上弦或下弦的时刻十分困难，这就导致上图中 $\angle MES$ 难于测准，实际上此角只比直角小 $10'$ ，即 $\alpha=10'$ ，但当时阿利斯塔克测出 $\alpha=3^\circ$ ，整整大了18倍。而且，他在自己的著作《论日月的大小和距离》中采取几何学方法推算出太阳直径为地球直径的 $6.33 \sim 7.17$ 倍。但实际上太阳直径为地球的109倍。

阿利斯塔克的测量已表明太阳远比地球大得多。他认为如此硕大的太阳不可能绕地球转动，于是提出太阳位于宇宙中心、地球绕着太阳公转、同时又每天自转一周的假说，这一见解和1543年哥白尼提出的日心地动说完全相同，所以人们称颂他是古代的哥白尼。不同的是阿利斯塔克是天才地猜测出来的，而哥白尼是经过严格论证后得出的结论。（宣焕灿）

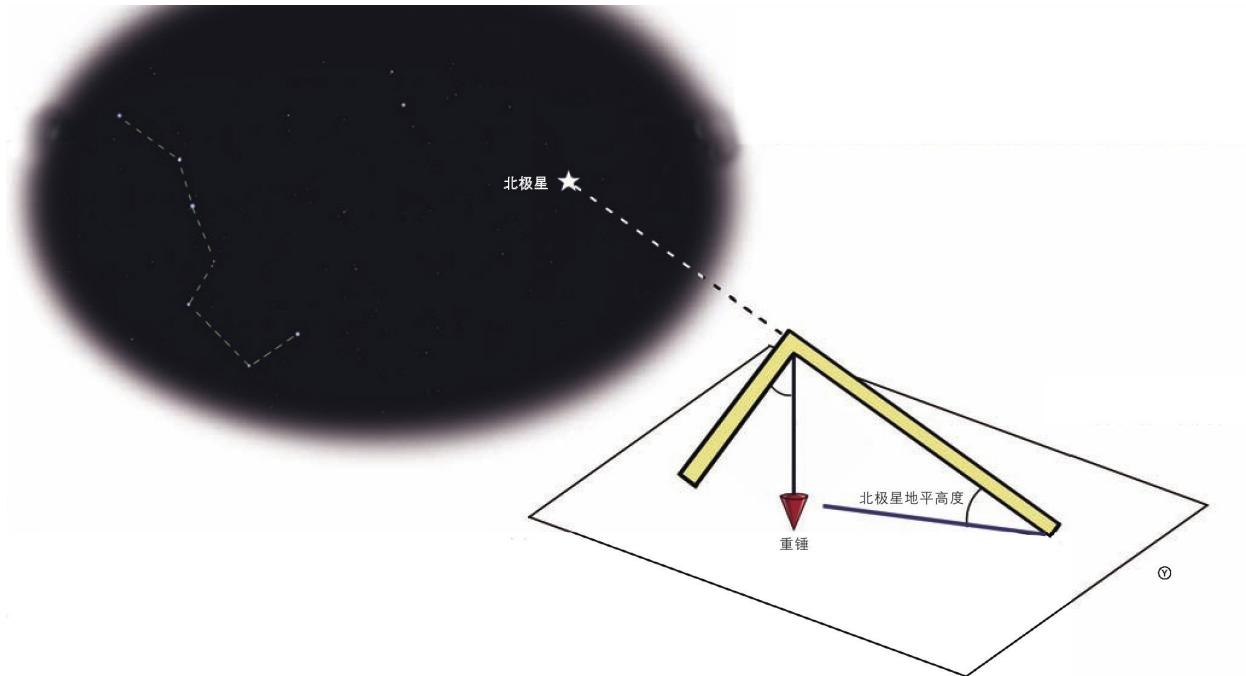
一行是怎样进行大地测量的

中国古代天文学非常重视实地测量，但是由于技术水平的限制，测量往往不能很精确。这就需要富于创新精神和实践能力的探索者。唐代的天文学家一行就是这样的一位先驱。他主持了世界上第一次地球子午线长度的实测，推算出了地球子午线一度弧的长度。

一行俗名张遂，魏州昌乐（河南南乐）人。年轻时父母双亡，遂剃度出家。因深入“一行三昧”，故法名一行。当时中国流传的“天圆地方”理论认为“日影千里差一寸”，即南北相隔千里的两地竖起高八尺的表，在同一时间测得的影子长度会相差一寸。这种说法从汉代的《周髀算经》中就有记载，但是缺乏实测依据。当时已经发现在不同地方日食发生的时刻、各节气的日影都不相同，制订历法时必须将此考虑在内。为此就有必要进行大地测量，精确地测量不同纬度地区的日影长度。

开元十二年（724年），一行发起组织了一次大规模的天文大地测量工作。他的团队在13个位点上测量北极星的地平高度（角度）和正午时分八尺表的日影长度。测量点最北到北纬51°左右的铁勒回纥部（今蒙古乌兰巴托），最南到约北纬18°的林邑（今越南中部）。为了测量北极星的高度，一行发明了方便携带的覆矩。覆矩大约是木工所用的曲尺一样的仪器，在直角顶点系上重锤，两条直角边中间安放量角器。只要把覆矩的一条边指向北极星，让它正好落在人眼和北极星的连线上，重锤拉的细线在量角器上指出的角度就是北极的地平高度。利用覆矩等工具，一行等人根据测量

结果得出结论，南北距离大约351里80步，北极高度相差一度。这就是地球子午线一度的球面距离。这一实测结果否定了“日影千里差一寸”的说法，实际上也得到了地球是球形的有力证据。可惜的是，一行及后来的中国古代天文学家只是把此测量结果用于制订历法，而没有进一步讨论大地的具体形状，也就没能真正发现“地球”。（柴一晟）



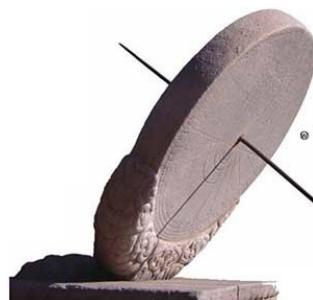
一行使用覆矩的猜想图

【实验场】利用太阳定时间

在晴好的天气里，可以使用日晷来测量时间。日晷由一根晷针和一个表盘组成。当晷针的阴影落在表盘上时，就能从刻度读出时间。由于晷针需要指向北极，而表盘要平行于地球赤道，因此不同纬度上使用的日晷需要倾斜相应不同的角度。

【实验场】利用太阳定方向

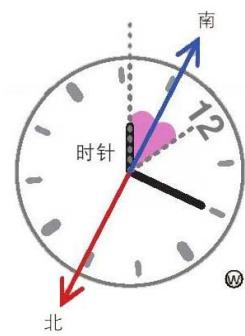
使用手表可以在晴好的天气确定方向：把时针对准太阳，时针和12点方向的夹角平分线所对的方向即为南方。



利用太阳定时间的日晷

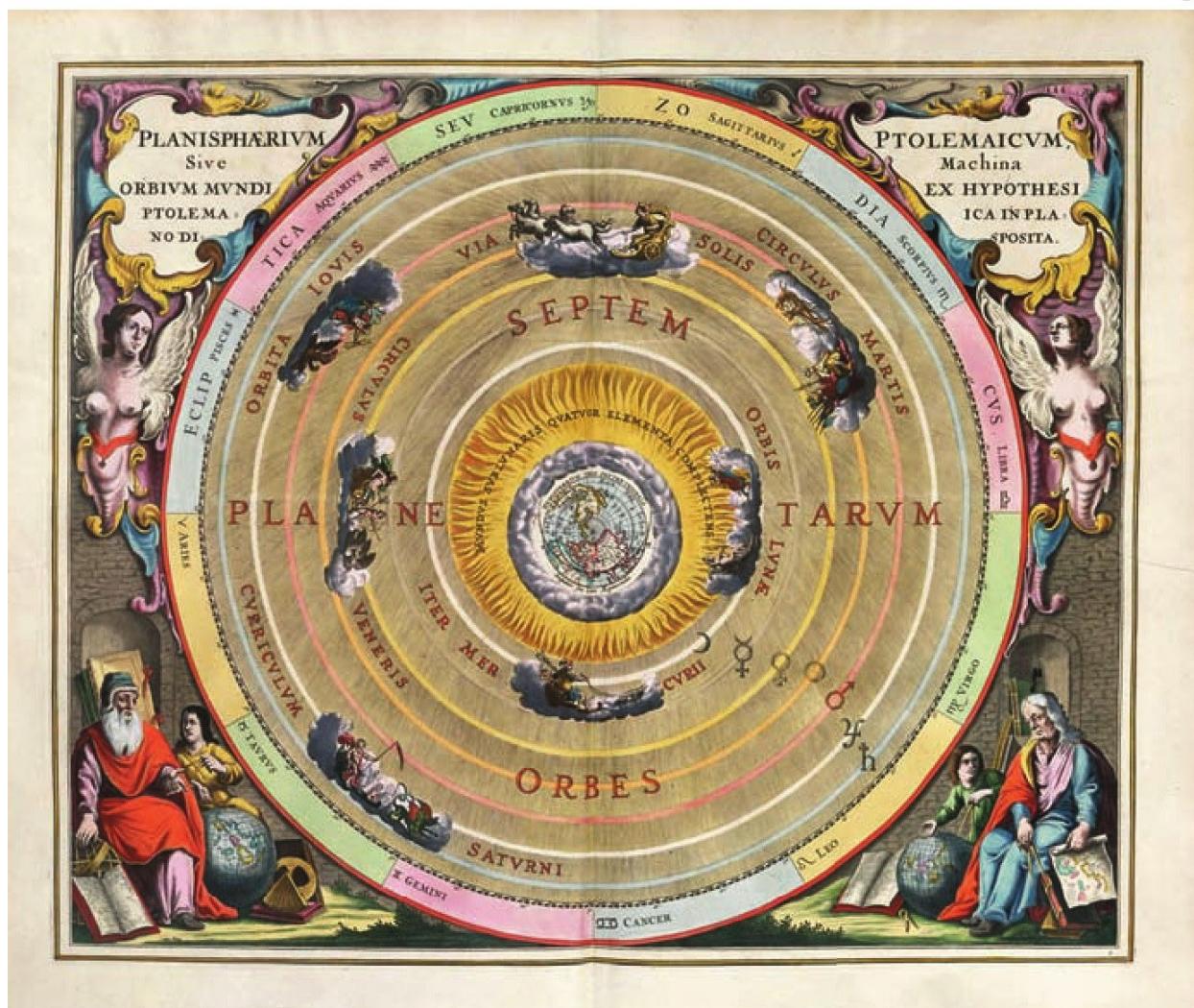
【微问题】为什么地球子午圈周长正好是40000千米？

【关键词】月地距离 日地距离 大地测量



为什么托勒玫的地心说可称是世上第一个较科学的宇宙结构学说

早在公元前6世纪末至前5世纪初期，古希腊数学家兼天文学家毕达哥拉斯就从美学观念和天文观测经验出发，提出一切立体图形中最美的是球形，一切平面图形中最美的是圆形，因此地球和天体的形状是球形的，它们的运动也应是匀速圆周运动。约两个世纪后，古希腊学者亚里士多德指出，月食时看到挡住月亮的地球阴影总是圆的，这是大地呈球形的有力证据。他还指出，人们向北或向南作长途旅行时，会看到北极星的高度和星空的形象在变化，而只有大地呈球形时才会产生这种变化。由于这些论证，大地呈球状的观念在古希腊得到了普遍赞同，这正是托勒玫地心说的第一项重要基础。

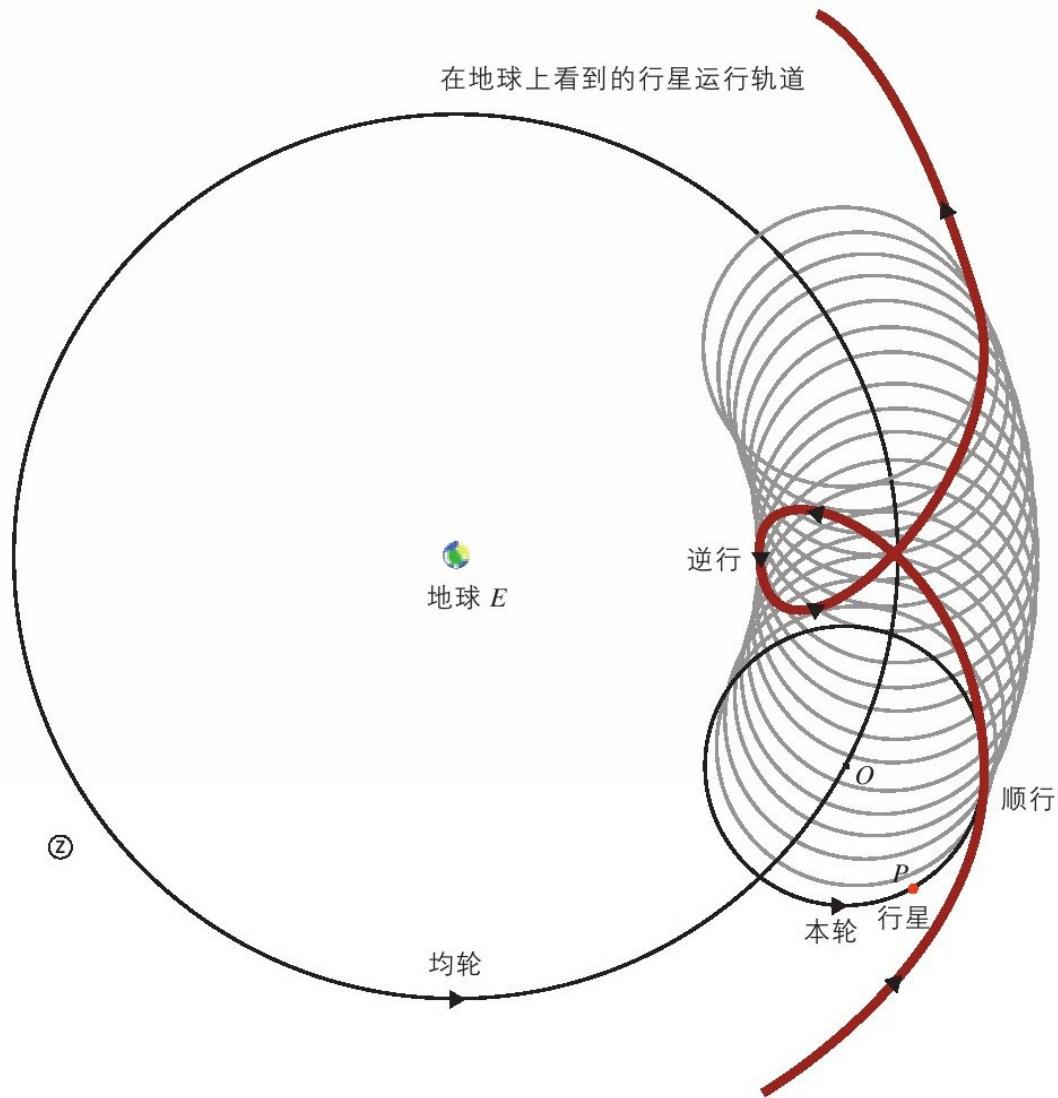


17世纪天文学家绘制的地心说示意图。图上以古希腊神灵的形象表现了月亮、水星、金星、太阳、火星、木星和土星及它们所在的轨道

古希腊人通过长期的天文观测，已发现水星、金星、火星、木星和土星这五颗行星在天空中相对于恒星背景而言，通常都是自西向东地“顺行”；但有时也会自东向西地“逆行”；当从顺行转为逆行或逆行转为顺行的过程中，行星会在恒星背景上短暂地静止不动，这称为“留”。这些现象是怎么引起的呢？

公元前4世纪，古希腊人又提出了“拯救现象”的观念，即认为人们提出的理论一定要尽量保存并能解释观测到的现象，这种观念是后来“假说必须

说明足够多的观测事实”的思想发端。为了能“拯救”行星视运动时而逆行、时而逆行、时而留的奇怪现象，古希腊学者先后提出了多种用几何系统来阐释行星运动的方案。公元前3世纪末，古希腊数学家兼天文学家阿波罗尼提出了本轮—均轮说，他认为行星 P 在一个以 O 点为中心的本轮上作匀速圆周运动，而本轮中心 O 又在以地球 E 为中心的均轮上作匀速圆周运动，结果行星 P 的运行轨迹就会出现大部分时间向前进，但也有小部分时间向后退的现象，而且从向前运行转为向后退行，或者从向后退行转为向前运行时，都会存在一个停留不动的拐点。阿波罗尼的本轮—均轮说，可以很好地解释行星视运动时而逆行、时而逆行、时而留的现象。本轮—均轮说是后来托勒玫建立地心说的第二项重要基础。



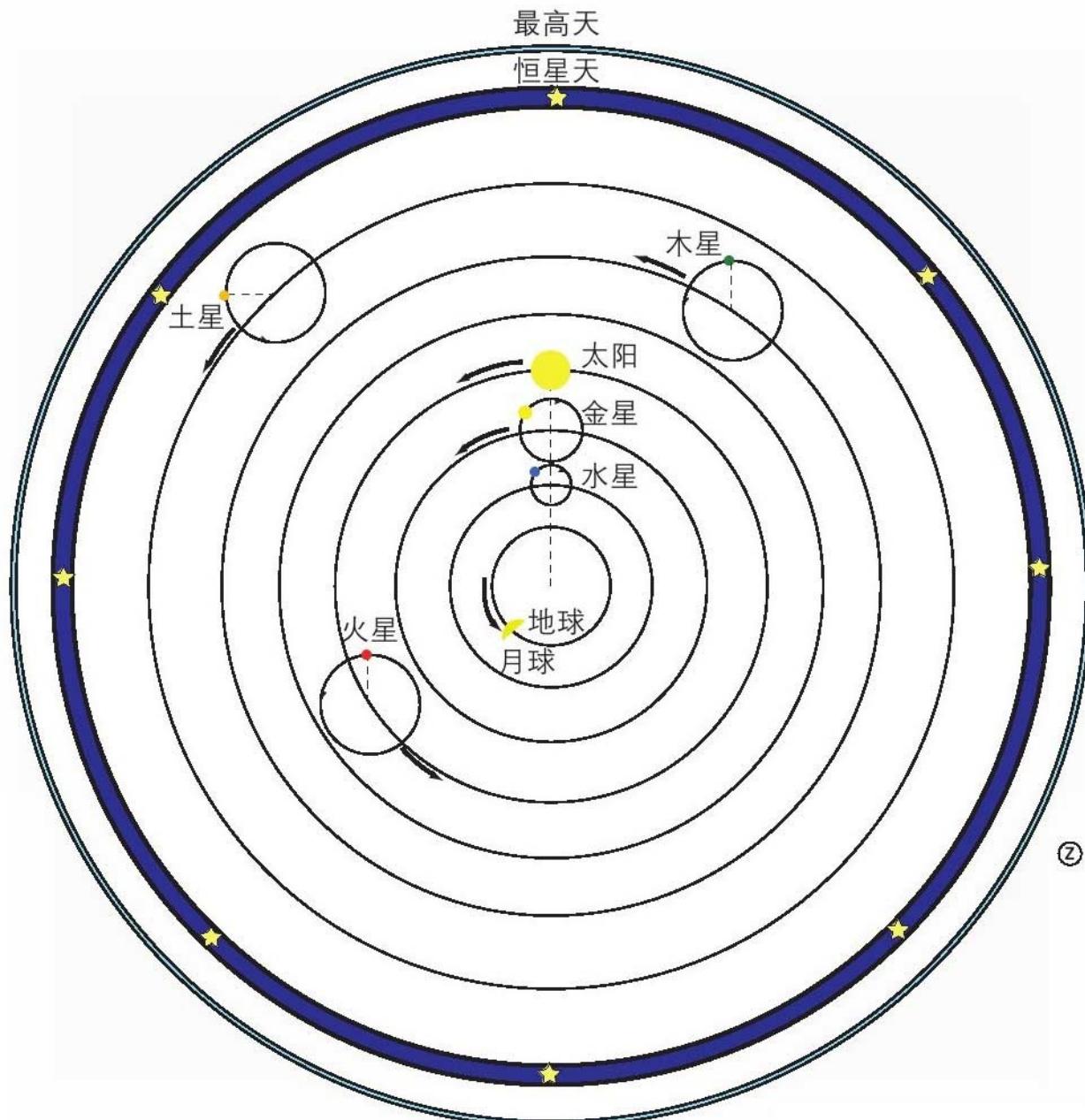
本轮均轮说示意图

依巴谷是古希腊时代的著名天文学家，他通过观测发现太阳在天空中作周年视运动时，从春分点到夏至点需要94.5天，从夏至点到秋分点需要92.5天，从秋分点到冬至点需要88.125天，从冬至点到春分点需要90.125天。为解释这种不均匀性，他提出太阳在圆轨道上绕地球转动，但地球却并不在圆心处，而是在偏离圆心 $1/24$ 个圆半径处。正是由于太阳沿这种偏心圆轨道绕地球转动，所以从地球上看来，太阳的运动才是不均匀的。依巴谷这种偏心圆的图像是后来托勒玫建立地心说的第三项重要基础。

托勒玫是古希腊天文学的集大成者，他沿袭了“拯救现象”的传统，总

结了阿波罗尼、依巴谷等许多古希腊学者的工作，加上自己长期观测行星的运动，并独创了某些数学处理方法，出版了13卷巨著《天文学大成》，提出了著名的托勒玫地心说。

托勒玫的地心说沿袭了“地球静止”和“圆形轨道”的传统，即五大行星和太阳、月亮都在围绕静止的地球运动。但为了“拯救现象”，托勒玫对均轮进行了特殊处理，他发现可以认为行星在一个小的圆（即本轮）上运动，而本轮的中心又在一个称为“偏心均轮”的大圆上运动。其所以称为偏心均轮，是因为地球并不在均轮的中心，而是略偏在中心的一侧，另外还引入一个点叫“等分点”，位于均轮中心的另一侧，而且行星运动在均轮上并不是匀速的，但相对于等分点的角速度却是均匀的。这就解释了为什么行星的轨道和速度相对于地球不对称，当行星离地球较远时，速度也相对比较慢，反之则比较快。这个学说就是“托勒玫体系”。



托勒玫地心说示意图

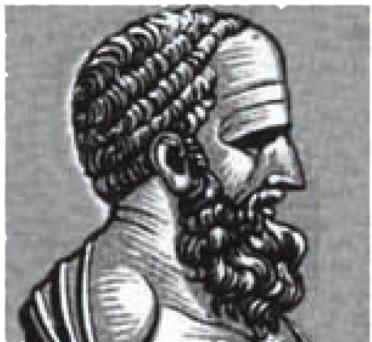
托勒玫地心说由于吸收了依巴谷有关偏心圆轨道的见解，而很好地解释了太阳在天穹上周年视运动的不均匀性；由于吸收了阿波罗尼的本轮-均论说，并使用大量观测资料来拟合行星在天穹上的不均匀运动，所以又可以定量地预报行星未来的位置。该学说既能解释天文观测资料，又能在当时的观测精度下预报日、月、行星的行踪，所以它是一个成功的理论，堪称世界上第一个较科学的宇宙结构学说，是人们对宇宙认识的伟大成就。

(宣焕灿)

【科学人】阿波罗尼

阿波罗尼（前262—前190），古希腊数学家和天文学家，长期在亚历山大里亚城工作和生活，在数学上最大的贡献是撰写和出版了8卷本的名著《圆锥曲线》，在天文学上的最大贡献是提出了著名的本轮均轮说。

【科学人】依巴谷



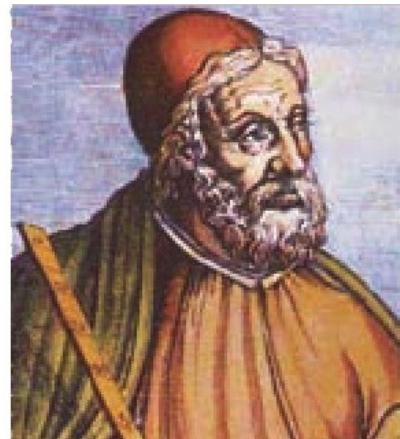
依巴谷（前2世纪初—前127），古希腊天文学家，长期在罗得岛从事天文观测，并卒于此。最著名的天文学成就是发现了岁差（春分点在众恒星中自东向西缓慢移动），提出了地球偏离太阳圆轨道中心的偏心圆模型，还编制了一部含850颗星的星表和一部预报日月食的表。

【科学人】托勒玫

⑩ 托勒玫（约100—170）很可能是古希腊人的后裔，本人是罗马帝国的臣民，也是古希腊亚历山大里亚学派的最后一位著名天文学家。他多才多艺，出版了名著《天文学大成》，创建了托勒玫地心说；著有8卷本的《地理学》，并首创用原始的经纬度来表示一系列地方的位置；还出版了5卷本的《光学》。

【微问题】古希腊人为什么能知道地球是圆的？

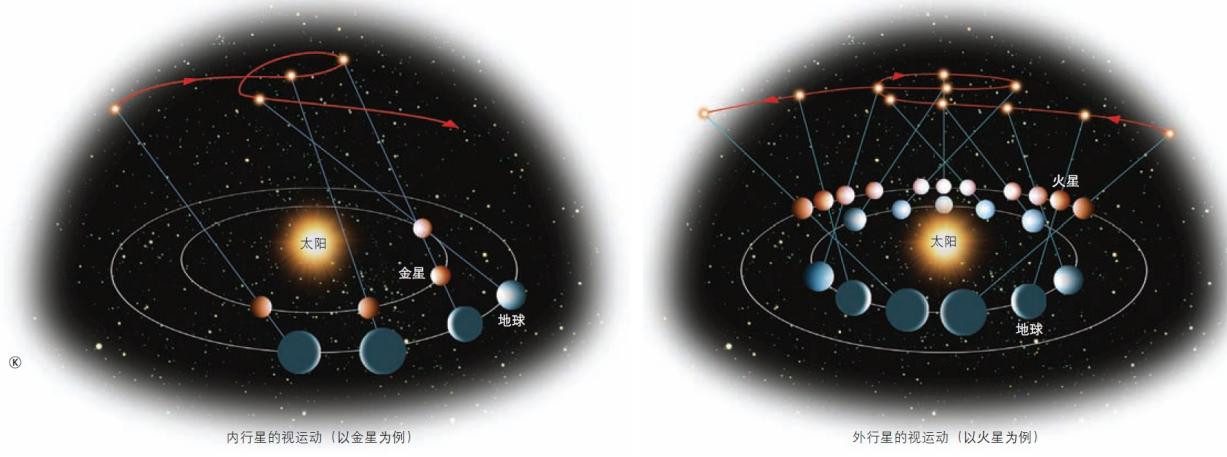
【关键词】地心说 本轮 均轮



⑩

为什么说哥白尼日心说引起了自然科学的革命

现在每个小学生都知道，太阳位于太阳系的中心，8个行星环绕着太阳运动，地球只是其中一个普通的行星。但在历史上，古人或认为是“天圆地方”，或认为大地是被乌龟或者大象驮在背上。古希腊学者首先认识到我们脚下的大地其实是球形的，即地球，他们甚至还根据天文观测计算出地球的周长，以及地球和太阳、月亮之间的相对距离，这是古代天文学取得的伟大成就。由于观测水平的限制，古代天文学家大多认为地球位于宇宙的中心，太阳、月亮和五大行星位于不同的天球上，最外层是恒星所在的天球，这些天球都被认为是由水晶构成的。

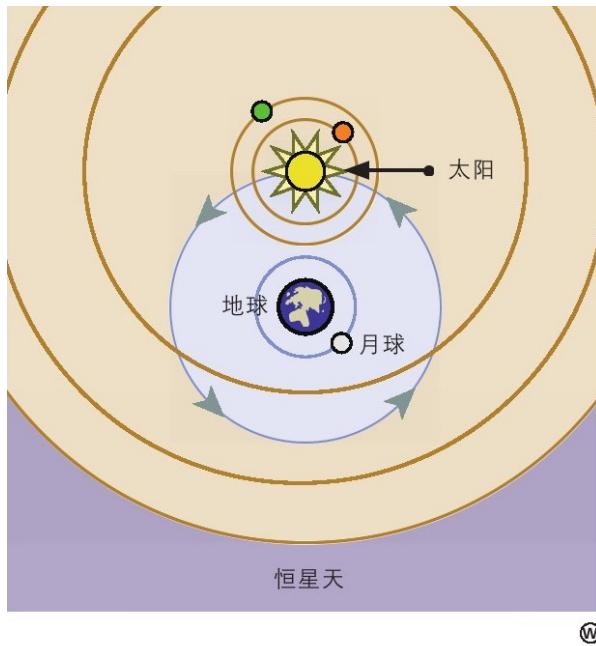


日心说很容易解释行星复杂的视运动

罗马帝国遭遇北方蛮族入侵而崩溃之后，社会陷入长期混乱，古希腊——罗马的文化在欧洲几乎失传。幸运的是古希腊典籍在阿拉伯帝国被翻译和保存了下来。公元1085年，基督教国家收复了西班牙的部分地区，伊比利亚半岛上形成了基督教国家和穆斯林王国共存的局面，文化交流频繁。大批欧洲学者赶往西班牙的托莱多城，形成了新的翻译运动，托勒玫的《天文学大成》就在这个时期从阿拉伯语翻译成了拉丁语。

从公元11世纪开始，欧洲学者重新认识了古希腊——罗马光辉灿烂的文化，开始建立学校翻译、整理和学习古代典籍。当时在欧洲占据统治地

位的基督教会采纳了地心说，作为证明《圣经》的权威观点，自然哲学都被视为经院哲学即神学的一部分，成了教会“恭顺的婢女”。由于改革历法的需要，天文学在这一时期重新发展起来。



第谷改良的地心说：月球和太阳绕地球转，其他行星则绕太阳转

古希腊学者阿利斯塔克曾在公元前3世纪估计过太阳的直径，发现它比地球大得多，提出了最早的日心说。但他也面临着很多问题，比如说如果地球在运动，那天上的云彩为什么不会被运动的地球所抛离？恒星的位置也会因地球运动而变化，但古代并没有观察到。阿利斯塔克提出这是因为恒星离我们实在太远了。但这些论证无法说服人们放弃地球静止的直觉，因而没有被采纳。一直到16世纪波兰天文学家哥白尼才提出了科学的“日心说”。



①

委内瑞拉1973年发行的邮票，纪念哥白尼诞生500周年。左面是日心宇宙体系示意图，中间是哥白尼肖像，右面是《天体运行论》书影

哥白尼在意大利求学期间就熟悉了阿利斯塔克的学说。返回波兰之后，他担任了弗龙堡大教堂的神父，并在塔楼上安装天文仪器从事观测。他用了将近40年时间把“日心说”发展成了可以用于天文计算的实用模型。哥白尼发现，托勒玫体系中每颗行星的运行都包含三种运动成分，周日运动（由地球自转所致）、周年运动（由地球绕太阳公转所致）和相当于岁差的运动，它们都可以归因于地球的运动，从而消除托勒玫体系不必要的复杂性。据此，哥白尼建立了太阳位于宇宙中心静止不动，而包括地球在内的行星都围绕太阳转动的日心体系。由于担心触怒教会，哥白尼写成《天体运行论》之后长时间没有公开发表，直到去世之前才同意付印。

哥白尼体系把太阳视为宇宙的中心，我们的地球则成了行星，一边自转，一边和其他行星一样围绕太阳公转，这样就可以自然而合理地解释为什么恒星存在周日运动、为什么水星和金星只能出现在太阳附近，以及为什么行星会出现逆行等问题，托勒玫体系很难解释的这些问题都变成显而易见的结果。不过，哥白尼体系也依然继承了古希腊的圆形轨道（水晶天球）和均轮-本轮体系。哥白尼的日心说是科学和人类认识世界的一大进

步，它挑战了垄断天文学上千年的托勒玫体系，是对宇宙体系更为合理也更为科学的认识。

随着哥白尼日心宇宙体系的指引，文艺复兴时期的天文学家完成了从古代天文学到现代天文学的革命。对水晶天球的否定是由丹麦天文学家第谷完成的，他对新星和彗星距离的观测表明，水晶天球根本不存在，原本被认为恒定不变的天空跟地上的事物一样也存在变化。开普勒继承了第谷的观测数据，计算出行星环绕太阳运行的轨道是椭圆形的，太阳位于椭圆的一个焦点上，从而在根本上否定了“均轮-本轮”体系。伽利略利用天文望远镜，基于一系列新的观测事实进一步发展了哥白尼体系，从而开创了现代天文学，并成为现代科学诞生的重要标志。（萧耐园）



◎

描绘哥白尼在弗龙堡教堂塔楼阳台上进行观测的油画

【科学人】哥白尼

尼古拉·哥白尼（1473—1543），波兰天文学家，先后就读于波兰克拉科夫大学、意大利博洛尼亚大学和帕多瓦大学，学习教会法规和医学。哥白尼从青年时代起就由其舅父推荐，成为波兰弗龙堡大教堂教士团的教士。他用大量时间孜孜不倦地从事天文观测和研究，终于创立了科学的日心体系，成为彪炳千秋的科学大师。

【科学人】布鲁诺

乔尔达诺·布鲁诺（1548—1600），意大利思想家，出生于贫困家庭，17岁入那不勒斯一所修道院当修士。其间成为哥白尼学说的坚定信仰者。他认为无数恒星分布于无限的宇宙中，太阳只是一颗普通恒星而不是宇宙中心。由于在神学上被视为“异端”，1591年布鲁诺遭罗马教会监禁，并审讯长达8年，但他毫不屈服。最后于1600年2月被宗教裁判所焚死在罗马百花广场。后人为纪念他，在广场中心树立了他的雕像。

【微问题】哥白尼的日心说是否也有局限性？

【关键词】日心说 天体运行论



为什么把开普勒称为“天空立法者”

德国天文学家开普勒分析了丹麦天文学家第谷毕生积累的天文观测资料，总结出关于行星运动的三个定律，世称开普勒行星运动三定律。它们分别是：

- (1) 行星环绕太阳运行的轨道是椭圆，太阳在这椭圆的一个焦点上。
- (2) 连接太阳和行星的向径，在相等的时间间隔内扫过相等的面积。
- (3) 行星绕太阳运行的轨道周期的平方与它们轨道半长径的立方成正比。

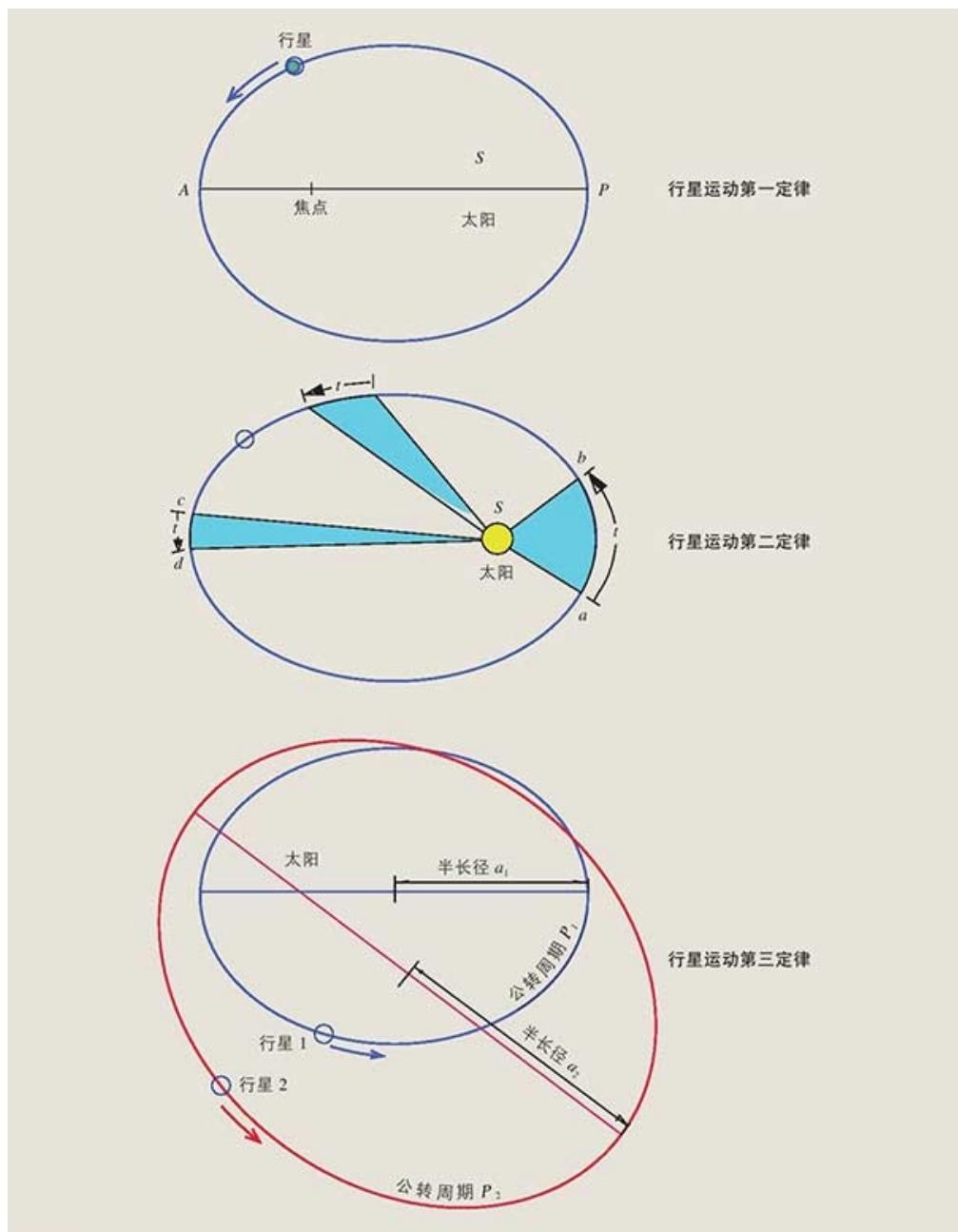
太阳在椭圆轨道的一个焦点上。行星在轨道上运动时与太阳的距离不是恒定的。在P点离太阳最近，称为近日点。在A点离太阳最远，称为远日点。因为引力与距离的平方成反比，所以，行星在近日点受到的太阳引力最强，运动的速度也最快。行星在远日点受到的太阳引力最弱，运动的速度也最慢。

地球在近日点时，离太阳14710万千米，速度是30.27千米每秒，远日点的距离为15210万千米，速度是29.28千米每秒。这样，在相等的时间间隔 t 内，行星在近日点附近走的弧线 ab ，比远日点走的弧线 cd 长，而面积 S_{ab} 和 S_{cd} 则相等。这就是开普勒第二定律的内容。

太阳系中的行星，离太阳越远的，公转周期就越长。例如木星到太阳的距离是日地距离的5倍多，而公转周期是地球的12倍。开普勒第三定律把各个行星的公转周期与它们的轨道半长径联系起来了。如果一个行星的轨道半长径为 a_1 ，公转周期为 P_1 ；第二个行星的轨道半长径为 a_2 ，公转周期为 P_2 ，它们必定满足下面的关系：

$$\frac{P_2^2}{P_1^2} = \frac{a_2^3}{a_1^3}$$

开普勒行星运动定律的发现具有极其深远的意义。首先，发展了哥白尼日心体系。原来，哥白尼受天体只能作匀速圆周运动的陈旧观念的束缚，为使日心体系的计算结果能与实际的天象相吻合，他仍然因袭了均轮、本轮甚至本轮套本轮的旧例，以至于他的日心体系仍然要引进30多个大大小小的圆圈。开普勒以他的创新性思维和过人胆识，摒弃了2000年来陈陈相因的均轮和本轮观念，以椭圆轨道描绘行星的运动，使太阳系的图像变得十分简洁明了。这为太阳系的研究奠定了坚实的基础。其次，行星运动三定律为万有引力定律的发现准备了条件。牛顿正是从这些定律推导出了万有引力定律。正是由于这一辉煌成就，开普勒被誉为“天空立法者”。（萧耐园）



⑧

开普勒行星运动三定律示意图

为什么太阳系的所有行星都有一个共同的“魔幻数”

由开普勒第三定律能推导出一个十分有趣的数值，法国天体物理学家沙隆日把它称为“魔幻数”。对于确定的中心天体，比如太阳，若选取一定

的时间单位和距离单位，这个数就是一个确定的常数 K 。在太阳系里，选择年作为计量时间的单位，天文单位（即太阳到地球的平均距离，约等于1.496亿千米）作为计量距离的单位。由开普勒第三定律的公式

$$\frac{P_1^2}{a_1^3} = \frac{P_2^2}{a_2^3} = \text{常数},$$

以地球环绕太阳运行的数据 $P=1$ 年， $a=1$ 天文单位代入，可得 $K=1$ 。它就是太阳系的开普勒魔幻数。我们可以用这个关系式来求太阳系任何一个行星到太阳的距离，只要测定它的公转周期即可。以木星为例，它的公转周期是12年。

由上式得 $\frac{12^2}{a_{\text{木星}}^3} = 1$

因此

$$a_{\text{木星}}^3 = 12^2 = 144,$$

于是

$$a_{\text{木星}} = \sqrt[3]{144} \approx 5.2 \text{ (天文单位)}$$

如果取地球为中心天体，以小时为时间单位，以万千米为距离单位，那么地球的魔幻数 $K=7.6$ 。这个魔幻数适用于环绕地球运行的一切卫星。以月球为例，它的公转周期 $P_{\text{月球}}$ 为27.32天。用小时计量相当于

$$P_{\text{月球}} = 27.32 \text{ 天} \times 24 \text{ 小时} = 656 \text{ 小时}$$

$$\frac{P_{\text{月球}}^2}{a_{\text{月球}}^3} = 7.6 = \frac{(656)^2}{a_{\text{月球}}^3}$$

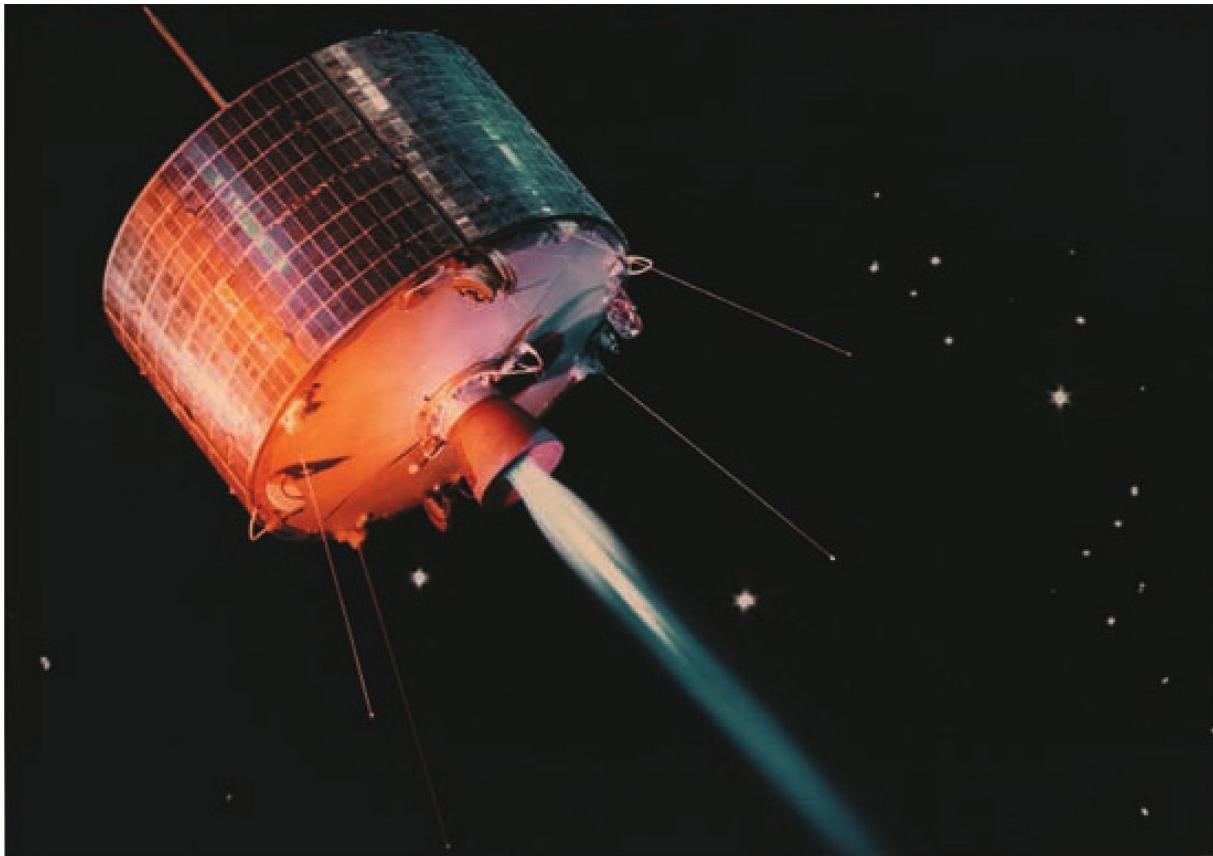
因此

$$a_{\text{月球}}^3 = 656^2 / 7.6 = 56\,623$$

求上列结果的立方根就得到月球与地心的距离：

$$a_{\text{月球}} = \sqrt[3]{56623} = 38.4 \text{ 万 (千米)}.$$

现在请注意距离的计量单位，我们选择了1万千米。因此38.4就是38.4万千米，结果非常接近于实际的地月距离。



⑩

1963年发射的“辛康姆1”通信卫星是第一个地球同步卫星

如果把一颗人造卫星发射到空间，使它在赤道上空“停留”在我们的头顶上（即所谓的地球同步卫星），它的周期就应该与地球的自转周期一致；因此 $P_{\text{卫星}}=24\text{小时}$ 。根据地球的开普勒魔幻数就可以知道这个卫星的高度，但要注意这是卫星到地心的距离，因此要再减去地球赤道半径6378千米。答案是35941千米，即约3.6万千米。（萧耐园）

【科学人】第谷

第谷·布拉赫（1546—1601），丹麦天文学家，出生于一个贵族家庭。16世纪晚期，他在丹麦的汶岛上设立了两座天文台，用自己设计制造的仪器坚持天文观测20余年，精度达到望远镜问世前肉眼观测的极限，获得了大量高精度的行星和恒星位置资料，被誉为古代天文观测大师。他的观测资料为开普勒发现行星运动三定律提供了必不可少的条件，实际上也为哥白尼学说的发展做出了重要贡献。

【科学人】开普勒

约翰·开普勒（1571—1630），德国天文学家。青年时代即显示出卓越的理论思维才能，深受第谷欣赏。1600年他访问第谷，次年第谷逝世。开普勒通过分析第谷的观测资料总结出了行星运动三定律，发展了哥白尼的日心说。他在天文学上的贡献还有：观测并研究了1604年出现的超新星，改进了折射望远镜，用第谷的观测资料编制星表，预报了水星和金星的凌日等。



◎



◎

【微问题】如果要月球停在地球赤道上某一点，需要距地心多远？

【关键词】行星运动定律 地球同步卫星

为什么赫歇尔数星星能绘出银河系的图景

18世纪20年代起，一些学者纷纷提出关于恒星世界结构的猜想。他们认为无数恒星构成了一个庞大的系统。

英国哲学家赖特探讨了恒星在宇宙中的分布，首次提出“银河系”的概念。德国哲学家康德发展了赖特的思想，认为银河系是被恒星填充的，恒星在银河系中连续分布。不过，关于银河系的这些天才预见，尽管有的在相当程度上符合实际情况，但毕竟停留在推测阶段。

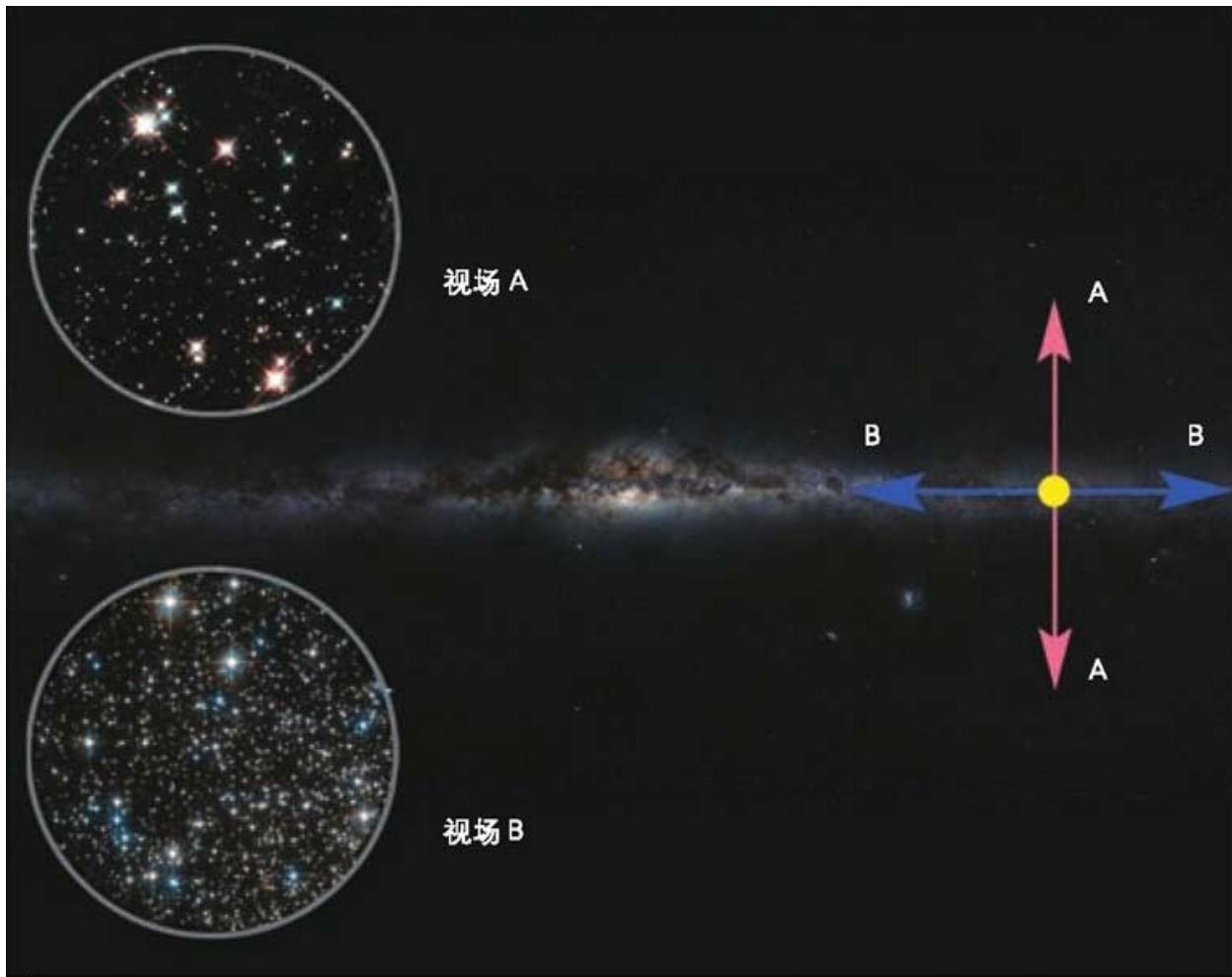


英国天文学家威廉·赫歇尔

18世纪后期，英国天文学家威廉·赫歇尔在他妹妹卡罗琳·赫歇尔的协助下，用自制的48厘米口径的反射望远镜，开展深入的巡天观测。他假定太阳位于银河系的中心，制定了周密的计划，把天空划分成一个个天区，通过巡天观测来确定全天恒星的空间分布。为此，他假定所有恒星的光度相同，它们亮度的差异只是由于与我们的距离有别；看上去越亮的恒星，离我们越近，看上去越暗的恒星，离我们越远。天狼星是天空最亮的恒星，把它作为距离基准。通过被观测恒星的亮度与天狼星亮度的比较，估计该恒星的距离有多远。他还假定宇宙空间是完全透明的，使用望远镜能够看到银河系最外缘的恒星。每到晴朗的夜晚，他就用望远镜对准选定的天区，一颗颗数出这些天区里的星数，并根据亮度估计每一颗星的远近。这开创了后来恒星天文学上常用的“取样统计法”。

威廉·赫歇尔通过取样统计发现，在银河附近恒星的数密度要比远离银河的方向上高得多，而且它们分布延伸得更远。他先后作了1083次观测，

在683个取样天区中一共数了近11.8万颗恒星。在以上假定的基础上，他认真分析观测资料，于1785年获得一幅扁而平、轮廓参差、太阳居中的银河系结构图。这样，威廉·赫歇尔首次通过观测证实了恒星聚集在一个状如“磨盘”的系统里。它的形态与现代天文学家揭示的银河系图像很相似。



⑧

赫歇尔用取样统计法“数星星”的原理图

那么，为什么数星星就能得知银河系的形状呢？

上图中左边两个圆圈分别代表望远镜指向视线A和视线B时所见的视场。在A视场里我们见到比较明亮、稀稀拉拉的少数恒星，而在B视场里，我们见到亮暗不等、密密麻麻的许多恒星。按照威廉·赫歇尔的假设，越暗的恒星距离越远，于是这两条视线上的恒星数目和分布就可以反映右图中两条相应视线上的情况了。

赫歇尔的这项观测，工作量之浩大和过程之艰苦是显而易见的，而他的巨大成果则在天文学史上树立了又一个重要的里程碑。他用实际观测证实了其他学者关于银河系的推测。从此人们的视野从太阳系扩展到广阔得多的银河系，有了一个新的飞跃。



◎

约翰·赫歇尔

威廉·赫歇尔去世后，他的儿子约翰·赫歇尔于1833年11月携带其父那架48厘米口径的望远镜来到南非好望角，建立了一个观测站。他把父亲的取样统计法用于南天，统计了3000个选区的近6.9万颗恒星。他的计数结果证实了老赫歇尔关于银河系结构的结论。

赫歇尔家族的工作可靠地证实了银河系的存在。从此银河系的研究有了坚实的基础，并蓬勃地向前发展。

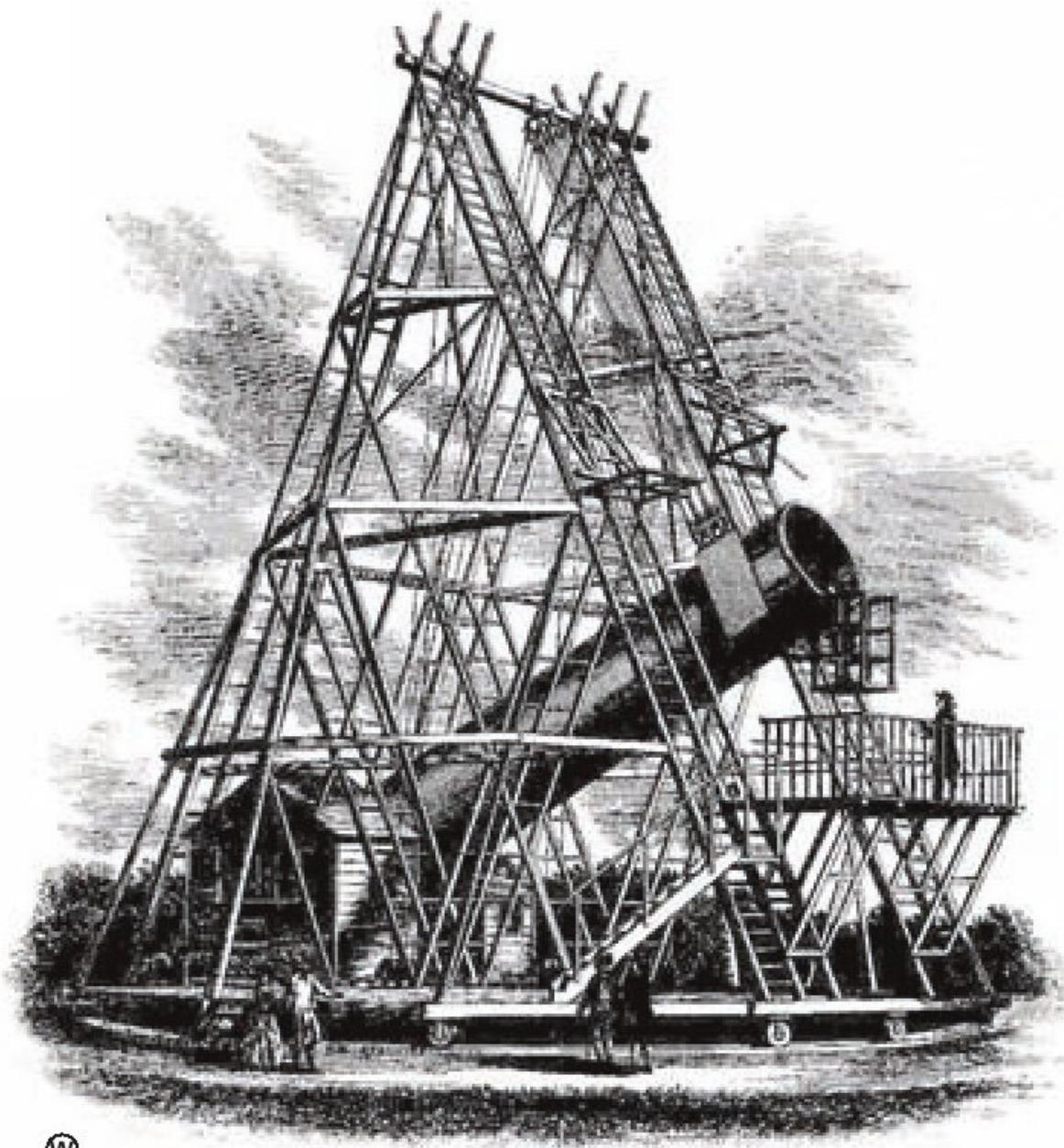
1916—1917年，美国天文学家沙普利通过测量许多球状星团的距离，证实了太阳位于远离银心的地方。沙普利把太阳从银心地位上移走，是人类继哥白尼之后第二次破除自己居于宇宙间某种中心地位的观念。这在人类思想史上，也具有革命性的意义，而且为建立更真实的银河系图像开辟了正确的途径。

现在天文学家对于银河系的自转、旋臂、组成等运动和结构方面的问题，又有了远比过去更加详细而深刻的了解。（萧耐园）

◎



赫歇尔的磨镜工具



W

威廉·赫歇尔制造的大型金属反射面望远镜，口径1.22米，长12米

【科学人】赫歇尔家族

威廉·赫歇尔（1738—1822），英国杰出的天文学家，他的妹妹卡罗琳·赫歇尔（1750—1848）以及他的儿子约翰·赫歇尔（1792—1871）也都是著名的天文学家。卡罗琳·赫歇尔不仅尽力帮助其兄记录和归算观测资料，而且独自进行观测，一生发现了14个

星云和8颗彗星。约翰·赫歇尔主要从事双星、星团和星云的研究。1834—1838年间在南非好望角进行观测，除记录和发现了南天的许多双星、星团和星云，还通过计数南天恒星进一步确立了银河系的概念。他的《天文学纲要》一书被翻译成中文（书名《谈天》），成为近代天文学引进中国的开端。

【科学人】沙普利

哈罗·沙普利（1885—1972），美国天文学家。1916—1917年，他通过观测球状星团里的造父变星，发现球状星团的分布并非以太阳为中心，而是以人马座方向的一个狭小区域为中心。他假定这个中心就是银心，并据此建立了一个太阳远离银心的银河系模型。沙普利破除了太阳系是银河系中心的观念，在天文学史上具有重要的意义。



卡罗琳·赫歇尔

【微问题】赫歇尔的望远镜是什么结构的？

【关键词】银河系形态 银河系结构 取样统计法

宇宙中的生命

为什么地球会成为生命的乐园

地球上，不仅生存着人类，还有着动物、植物、微生物等众多的生命形态。从广阔的大地，到浩瀚的海洋；从茂密的森林，到湍急的河流；从高峻的山岭，到幽深的洞穴；从酷热干旱的荒漠，到天寒地冻的极地……生命几乎遍及地球的每一个角落。

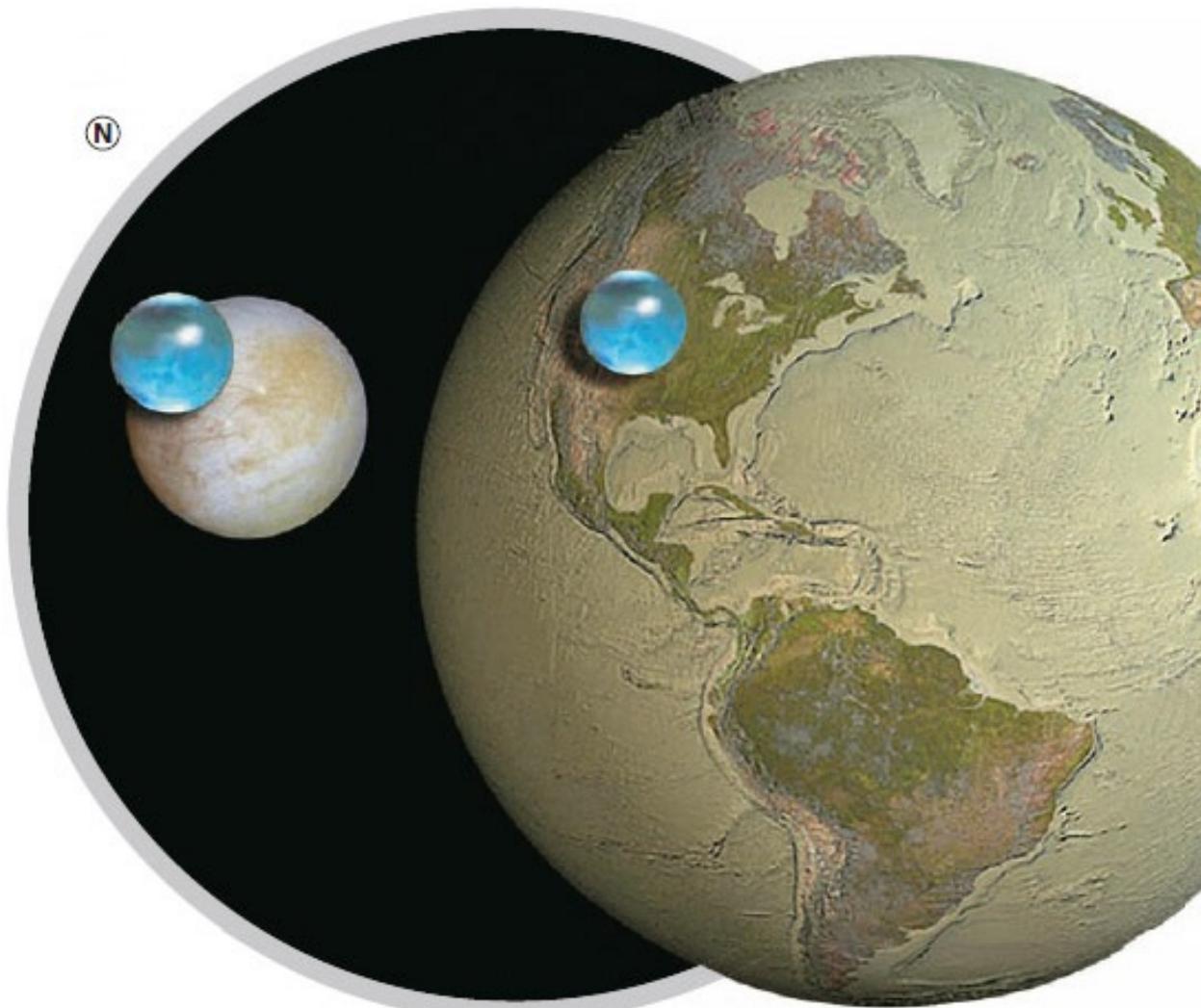
地球上为什么会有那么多的生命呢？因为地球有着可供生命生存和繁衍的种种有利条件。生物体最基本的特征就是新陈代谢，只要生命没有终结，新陈代谢就不会停歇。而生物要能进行新陈代谢，就必须有足够的物质和能量来源，因而必须有合适的资源和环境条件，特别是要有足够的液态水。液态的水是很好的溶剂，能够溶解多种化学物质，进行生命所需要的各种生化反应。



©

地球的液态水环境滋养了丰富的生命

地球是一个幸运的星球，处在一个有利而稳定的空间环境中，经过几十亿年的演化，又形成了一个奇妙的能保障生命生存和繁衍的内部环境。地球上有着各种营养物质和能量来源，还有足够的液态水，各种生物都能在地球上找到合适的环境和资源，又以各自特有的方式，一代又一代地不断繁衍，形成了地球特有的生物圈。这个生物圈，就是地球上所有生命的乐园！（刘炎）



将地球上所有的水汇成一个大水球，其尺度与地球本身的大小相比，如图右部所示。左侧图示木卫二的水含量，虽然木卫二比地球小得多，但它拥有的水却可能比地球上的水还多

【微博士】生物圈

这个概念最早是奥地利地质学家爱德华·苏威斯于1875年提出的，原指地球上的动物、植物和微生物等各种生物的总体。现今是对所有生物及其生存环境的总称，包括大气圈的底部、水圈的全部和岩石圈的上部，厚度有20多千米。不少科学家认为，广义的生物圈是一个封闭的而且能自我调控和平衡的复杂生态系统。一般认为，地球的生物圈是从35亿年前生命起源后演化而来的，在整个宇宙中，目前还是唯一已知的有生物生存的区域。

为什么太阳系内其他星球上也可能有生命

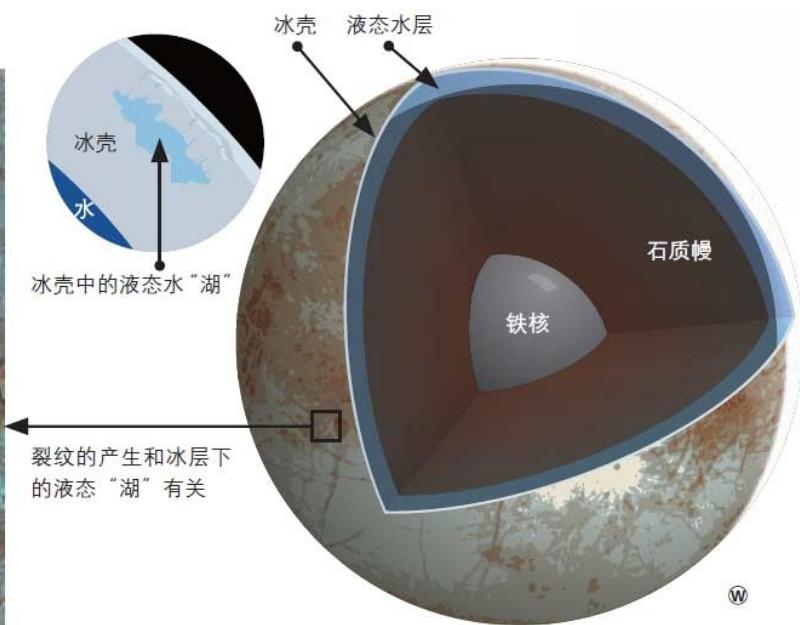
太阳系内的八大行星中，木星、土星、天王星、海王星被称为“气态巨行星”或“类木行星”，都没有固态的表面。它们离太阳都很远，无法获取足够的太阳热能，行星上没有液态水，因此无法孕育出地球型的生命形态。

水星、金星和火星，则与地球颇为相似，都具有固态的岩石表面，被称为“类地行星”。其中，水星离太阳太近，大气层又极其稀薄；金星的大气层过分浓密，而且主要成分是二氧化碳，温室效应使得金星表面的温度高达460°C以上。因此，水星和金星的表面都不可能有液态水，也不可能有生命。火星只比地球距离太阳稍远一些，能得到足够的阳光照射；其自转周期是24.6小时，昼夜交替与地球十分相近。火星直径是地球的一半，能保持稀薄的大气，维持一个较为温暖的环境，因此有可能存在生命。

20世纪后半期，人类进入了空间时代。50多年来，科学家发射了数以百计的空间探测器，对太阳系的许多天体，特别是对各大行星及其卫星进行了广泛的探测研究。虽然迄今还未在这些天体上发现任何形式的生命，但在火星以及土星和木星的几颗卫星上还是发现了生命存在的潜在可能性。

土星的卫星土卫二和木星的卫星木卫二都有冰冻的表面，冰面下可能是液态水的海洋。土星的另一颗卫星土卫六是太阳系中唯一拥有浓厚大气层的卫星，大气中98%是氮气，还有甲烷、乙烷、丁二炔、甲基、乙炔等许多有利于产生生命的有机化合物，它的固态冰层表面遍布着液态或固态的乙烷、甲烷，冰层表面之下也可能有液态水的海洋。而在木卫一上，发现了数以百计的活火山。这几颗卫星的状况与地球上的某些火山喷口、海底热泉、黑烟囱等极端状态的生态环境颇为相似。因此，它们很可能拥有生命，或者迟早会孕育出生命。

④ 木卫二表面的裂纹



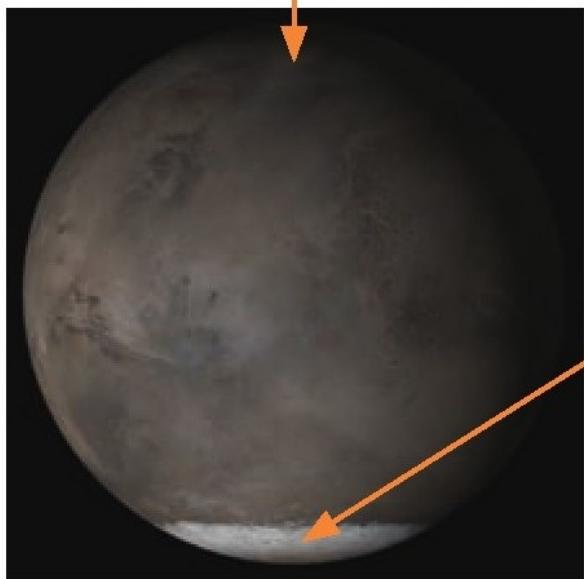
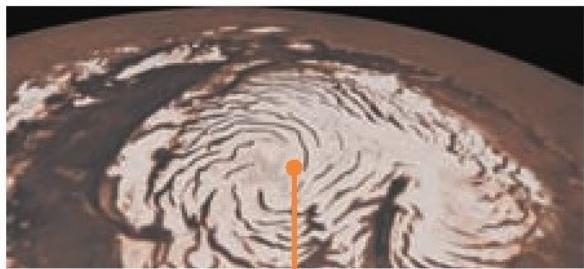
木卫二的结构，其表面布满裂纹

最令人鼓舞的是对火星的探测。人类已经向火星发射了几十个探测器，有些在火星表面着陆。探测发现，火星地表遍布着曾有流水的迹象。在两极地区，甚至可以看到大量的水冰。在火星地表下的某些区域，也许还隐藏着液态水的暗湖！

如果火星上曾经有过流水，那么一系列的问题就会接踵而来：这些水曾经孕育出生命吗？如果孕育过生命，后来又留下了什么遗迹？当年是否有过比现在浓密得多的大气？是否有可能改造火星，让它再度拥有流水？为了揭开这些疑谜，科学家们还在开发更先进的探测器，期待有更多的发现！（刘炎）

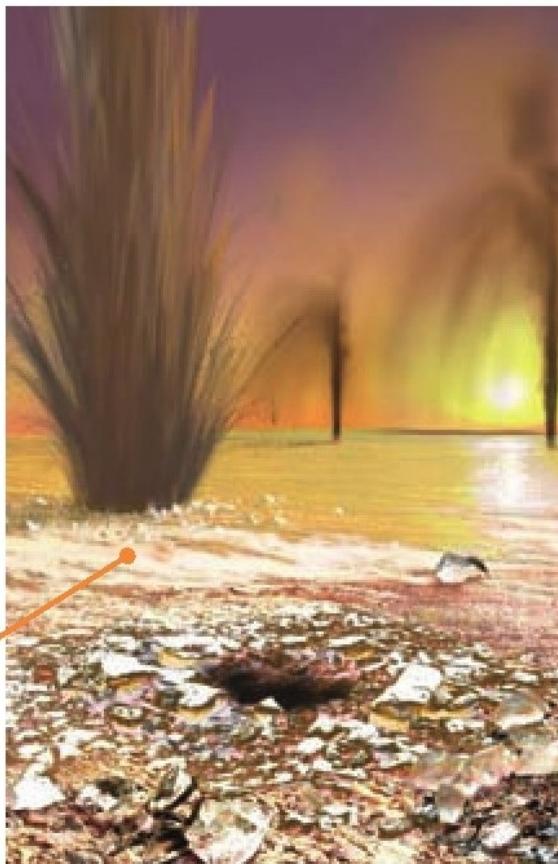
火星北极的冰

④



火星的极冠

④



④ 火星南极夏季来临时会产生含沙的喷泉

【微问题】为什么生命需要液体环境？

【关键词】生命 地球 生物圈 类地行星 类木行星

为什么宇宙中其他地方也可能有地球型生命

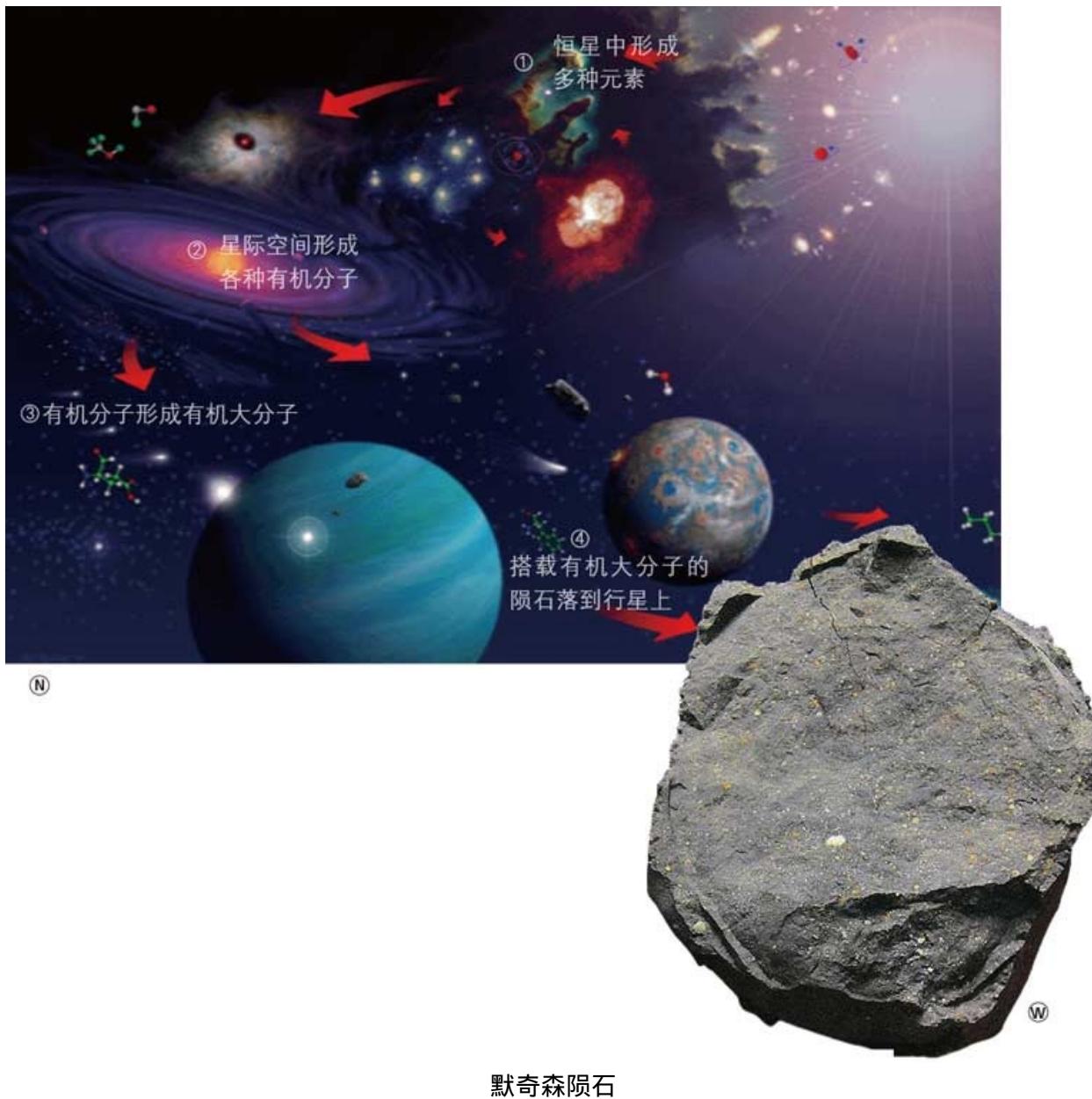
大多数科学家认为，地球上的生命起源于地球原始海洋的液态水环境中。在数十亿年漫长的演化历程中，种种非生命物质经过极其复杂的化学和物理过程，一步一步地由简到繁，从简单的有机小分子——如氨基酸、核苷酸，演变为有机大分子——如蛋白质、DNA，直至简单的原始生命。这种生命起源假说，也称为“化学起源说”。

为了探讨宇宙中生命的起源问题，科学家把地球上的生命形态作为一种可参考的“样本”，称之为“地球型生命”。由于迄今还未在其他天体上发现任何别的生命形态，因此我们只有“地球型生命”这个唯一的“样本”。科学家把适合“地球型生命”生存的行星称为“地球型行星”，“地球型行星”应该有着与地球相似的环境状态。大多数科学家认为宇宙中的生命很可能以“化学起源”的方式在“地球型行星”上产生。

然而，也有科学家认为，生命并非起源于地球，而是来自外太空。1907年，诺贝尔化学奖获得者瑞典化学家阿伦尼乌斯就曾提出：星际空间飘浮着某种微生物，某种生命的孢子，它们在太阳光压力的推动下被送往远方，如果遇到像地球这样合适的行星，孢子就开始发芽，生命就开始孕育。这就是所谓的“宇宙胚种说”。

自20世纪60年代以来，天文学家在星际云中发现了100多种有机分子，这就意味着，有机分子不一定非要起源于地球型的环境，在星际空间同样能产生。1969年，澳大利亚维多利亚州陨落了一块奇特的陨石，被称为默奇森陨石。研究者在陨石碎片中发现了多种氨基酸，分析表明这些氨基酸应来自地球外。据此，有些科学家认为，在星际云中，由于高能射线（宇宙线、X射线、紫外线等）或某些剧烈的天体过程（如超新星爆发）的作用，有可能形成诸如氨基酸、嘌呤、嘧啶等更加复杂的分子，甚至生命的胚种。它们附着在星际尘埃的颗粒上，有可能随着小行星或彗星落入某颗行星的表面，从而使行星产生初始的生命。不过此种假说现今还缺乏足够

的证据。（刘炎）



【微博士】地球型生命

地球上的生命有两个基本特征：首先，地球上的生命体都以各种有机物为基础，构成这些有机物的化学元素最主要的是碳，其次是氢、氮、氧、磷和硫等。有机物以碳元素为基础，称为碳基化合物，地球上的生命体就称为“碳基生命”。其次，地球上的生命处在液态水的环境中。生命最初就可能起源于大海，现今的许多生物也都生活在水中；同时，所有的生命体本身都包含水分；生命体

新陈代谢过程中进行的各种生化反应更是离不开液态水。液态水是碳基生命所必需的溶剂、媒质或介质。因此，只有存在碳基有机化合物和液态水的地方才可能有地球型的生命。

为什么天文学家特别关注海底热泉中的嗜极生命

早先，人们曾认为地球上的生命对生存环境条件的要求是相当苛刻的。但自20世纪70年代以来，科学家在东太平洋、大西洋、印度洋，甚至北冰洋的洋底相继发现了数以百计的被称为海底热泉和“黑烟囱”的奇异景观。在那些极端严酷的环境中，竟然有许多奇特的生物组成了相当稳定的生态系统。不少科学家认为，这种环境可能与地球形成早期古细菌所处的环境甚为接近，因此，这样的环境很可能就是孕育地球生命的最初场所。



海底热泉中的蟹和蛤



海底热泉和“黑烟囱”周围生机勃勃



海底热泉中的管状蠕虫，长可达2米

这种深海下的海底热泉和“黑烟囱”处于一种高温（热泉喷口附近温度达300°C以上）、高压（达200个标准大气压以上）、缺氧、偏酸的极端环境中，连阳光也照射不到。令科学家感到惊讶的是，那里竟然也是一片生机勃勃的景象，那里生存的奇特生物如管状蠕虫、蛤类和细菌等，被称为嗜极生物。它们组成了一个封闭的生态系统，仅靠地下的热源和黑烟囱喷发出来的各种无机物就能世代繁衍，不需要其他外来的物质和能量。这就为地球上，甚至为其他星球上生命起源的问题提供了新的启示、新的思

路。

海底热泉和黑烟囱的发现，是20世纪最重大的科学发现之一。现今，人类的空间探测又发现，太阳系的某些天体，如土卫二和木卫二上，也可能有着与海底热泉相似的环境，因而那里也可能会有生命，或者最终会孕育出生命来。即使在太阳系之外，如果某些天体上也有着与这种海底热泉相似的环境，那么在那些天体上就同样可能存在生命。（刘炎）

为什么外星生命也许和地球上的生命大不一样

地球生命是以碳为基础的，有人认为外星生命并不一定都以碳为基础。外星的环境可以千差万别，其上的生命形式更可能是稀奇古怪。由于硅元素的化学性质与碳元素最为接近，1891年时，德国波茨坦大学的天体物理学家申纳尔就已探讨了以硅元素为基础的生命的可能性。后来，科学家提出了更多的猜测和设想，认为在外星上更加极端而严苛的环境条件下，生命有可能是硅基的、氨基的，甚至是砷基的等，它们新陈代谢所需要的液态介质也可能不是液态水，而是氟化硅、硫、氨、甲烷等，因而这些生命的形态、长相当然就不会和地球上的生命一样了。但这些都还只是猜测而已。（刘炎）



可能形态一：伸出地面的碟状结构



可能形态二：根状结构向能量来源延伸



⑩

可能形态三：很多锥状体朝向热源、光源或食物

想象中的硅基生命生活在无水环境中

【微问题】碳基生命在新陈代谢中不断呼出二氧化碳气体，硅基生命排出的可能是什么物质呢？

【关键词】地球型生命 化学起源说 宇宙胚种说 嗜极生命 碳基生命

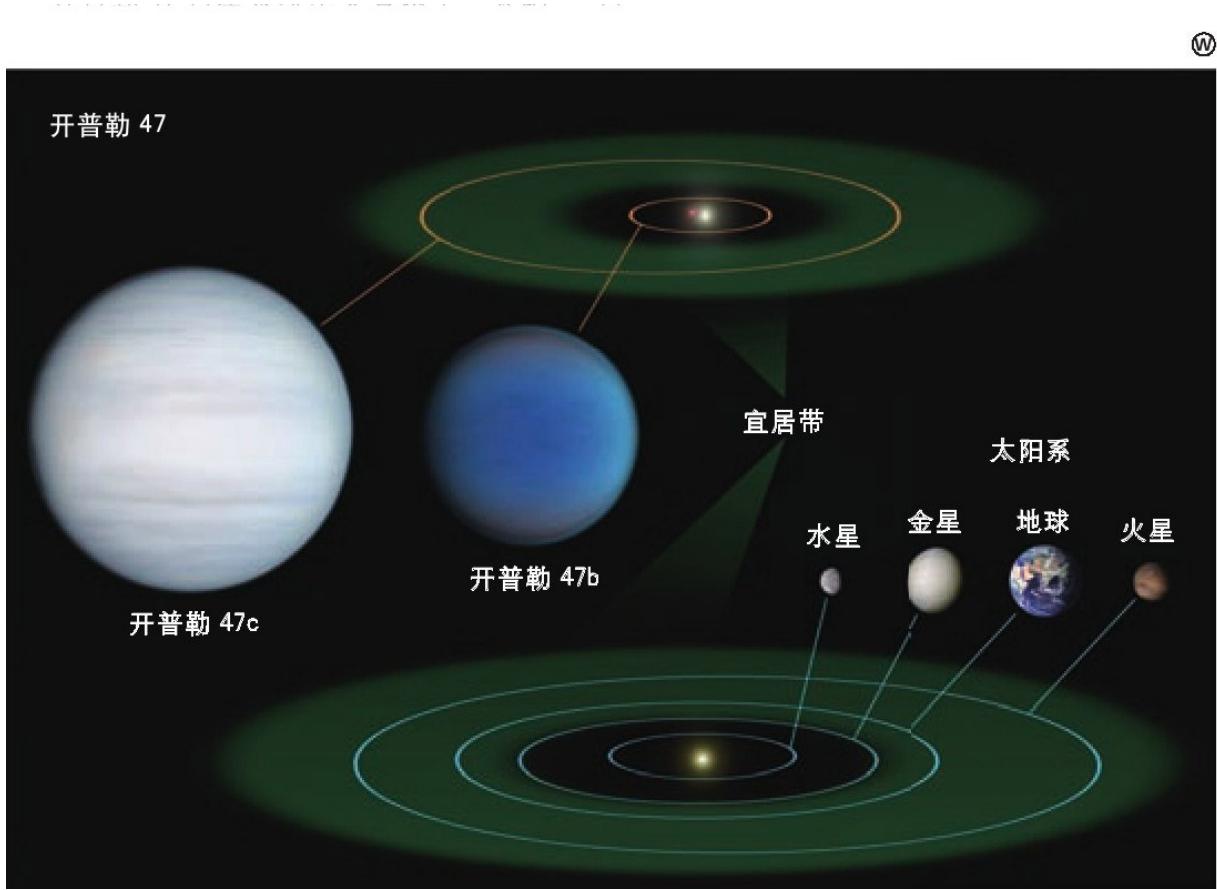
什么样的星球上可能会有生命

在宇宙中，什么地方可能有生命呢？

恒星的表面温度高达几千甚至上万摄氏度，不可能有生命。彗星和小行星上没有大气也没有液态水，也很难有生命存在。

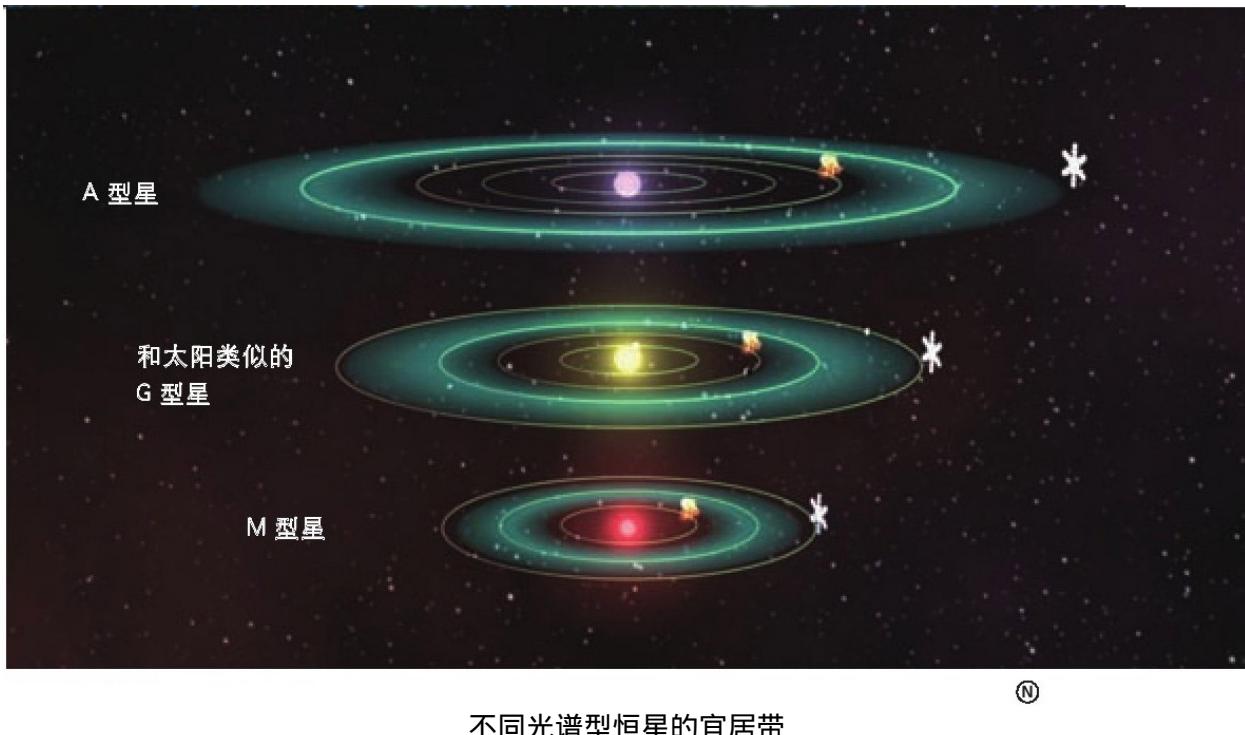
很长时间以来，人们都认为生命只能存在于“宜居带”内的“地球型行星”上。

所谓宜居带，是在太阳系或其他恒星-行星系统中的一个特殊的空间区域，只有处在这个区域中的行星（及其卫星）的表面才有可能存在足够的液态水和大气。这就要求来自太阳或中心“母恒星”的光和热不能太少，也不能太多。太多会把大气吹散，把水汽化；太少则会导致水甚至大气都凝固。据此，宜居带应是在离“母恒星”一定距离上的一个球壳状的空间区域。天文学家对我们太阳系的宜居带位置作了估算，一般认为是在离太阳中心 $0.7 \sim 3.0$ 天文单位的范围内（大致是在金星轨道至小行星带之间）。宜居带的位置与恒星发出的光和热的强度有关，光热强度越大，宜居带离它的距离也就越远。太阳和恒星周围的这种适合生命生存的宜居带也统称为“星周宜居带”。



开普勒47行星系统中央有两个“太阳”，行星开普勒47c位于宜居带中

对于生命的生存和繁衍来说，太阳系或其他恒星-行星系统还必须处于银河系中的一个合适的位置。这个位置不能离银河系的中心太远，以能获取支持生命形成所需的各种化学元素，因为离银河系中心太远的区域，缺少足够的形成生命所需的多种重元素。然而，这个位置也不能离银河系中心太近，因为银河系中心的高能辐射太强，会扼制生命的形成。



不同光谱型恒星的宜居带

这个离银河系中心不太远也不太近的合适位置，天文学上称为“星系宜居带”。大致在银河系中和太阳同类的“星族I”型恒星分布的一个椭球形的壳状空间区域内。对于银河系之外的其他星系，也有着类似的“星系宜居带”。

传统上认为，宜居带内的行星要有生命，还必须是宜居带之内的“地球型行星”。所谓地球型行星，是指像地球一样，具有生命所不可或缺的20多种化学元素，并且有着和地球类似的适宜于生命生存和繁衍的其他种种环境和资源条件。比如质量不能太小，否则引力无法维持大气的存在，又比如具有不太慢的自转速度，不至于让母恒星的光只停留在行星的一面，从而把一面烤焦，而另一面永远被黑暗和寒冷笼罩。这样，行星上才有充足的大气和液态水，可供生命生存。这种宜居带内的地球型行星，被称为“宜居行星”。

然而，由于地球上种种嗜极生物的发现，特别是由于自20世纪70年代末大洋中海底热泉和“黑烟囱”生态系统的发现，现今的科学家认为，即使不是“地球型行星”，只要有合适的环境，生命一样有可能存在。因此在土

卫二、木卫二、土卫六等几颗卫星上，也有生命存在的可能性。当然，“宜居行星”上出现生命的可能性更大些。（刘炎）

为什么不是任何恒星旁边都存在有生命的星球

要成为“宜居行星”，不仅对行星所处的位置很有讲究，对于它的母恒星也有相当高的要求。

首先，这颗恒星的表面温度不能太高，也不能太低。温度太高会使宜居带离得很远，由此宜居带内行星的公转周期会长达百年、千年甚至万年以上，这对生命的繁衍和进化是极端不利的；而且高温恒星主要的辐射能量集中在紫外线甚至X射线波段，而这些高能辐射对生命来说可能是致命的。相反，如果恒星表面的温度太低，就可能无法为宜居带的星球供应足够的热量和能量。

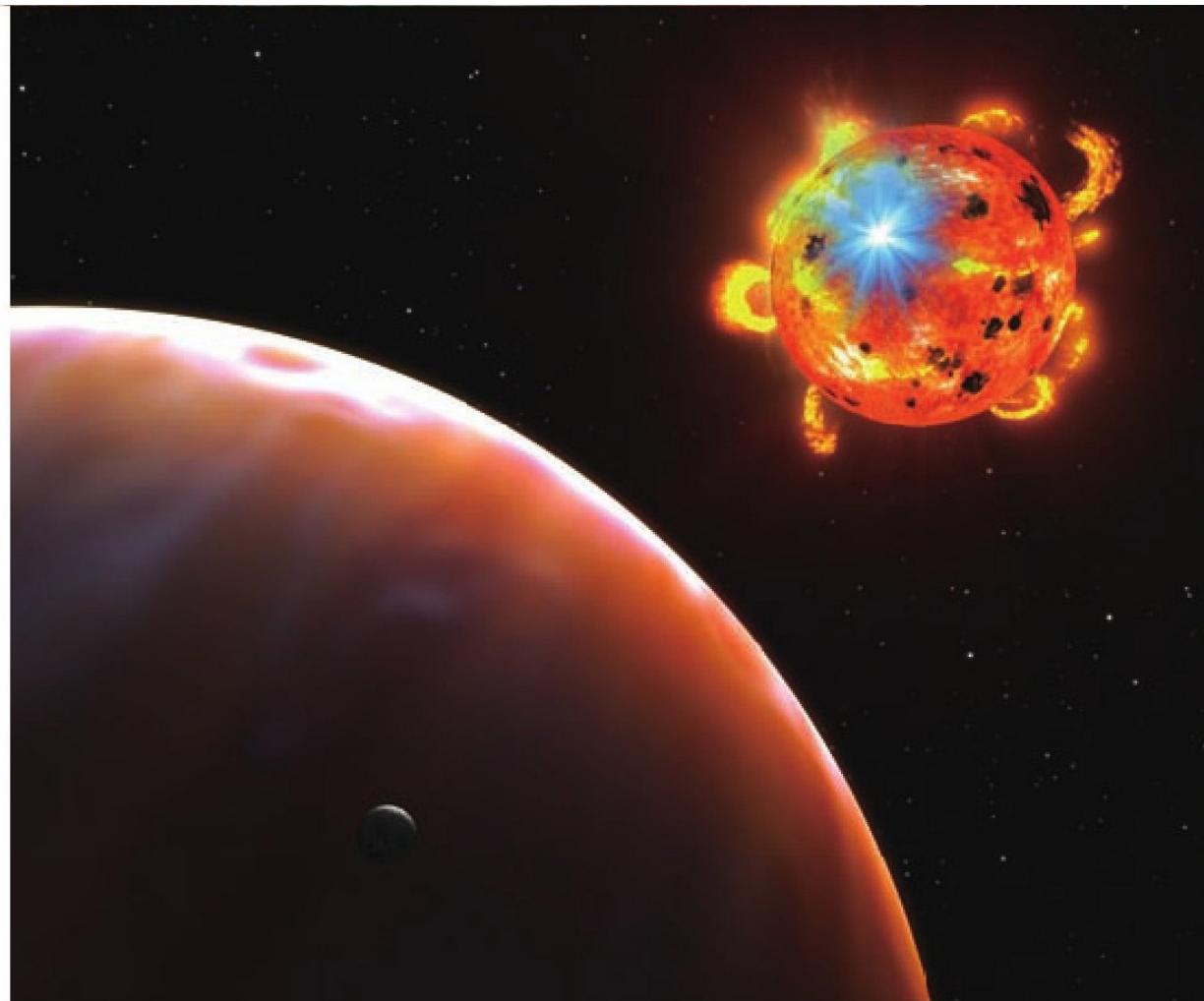
其次，这颗恒星在其自身的演化历程中得有几十亿年的稳定时期，以保障行星上生命的起源和演化所需的漫长时间。只有质量与我们太阳相仿的恒星，在演化的主序星阶段才能有百亿年左右的稳定时期。质量太大的恒星演化得太快，有可能围绕它旋转的行星刚进化出生命，就被剧烈的恒星活动所毁灭了。

再次，这颗恒星的组成物质中，必须有组成地球型行星和地球型生命物质所需的各种化学元素，特别是重金属元素，才能保证与它共同起源的行星上也有着同样元素的物质。这就要求母恒星必须不是第一代恒星。

天文学家认为，适合以上这些条件的恒星，大致就是光谱型为F型或G型的恒星，以及K型的红矮星。上述这些特征正与我们的太阳十分相像。太阳是一颗G2型的恒星，现正处在主序星阶段的中期，年龄约为46亿岁。在银河系的恒星世界中，太阳的质量和光度都处于中等地位。而且太阳是属于星族I的非第一代恒星，距离银河系中心约26000光年。与太阳类似的

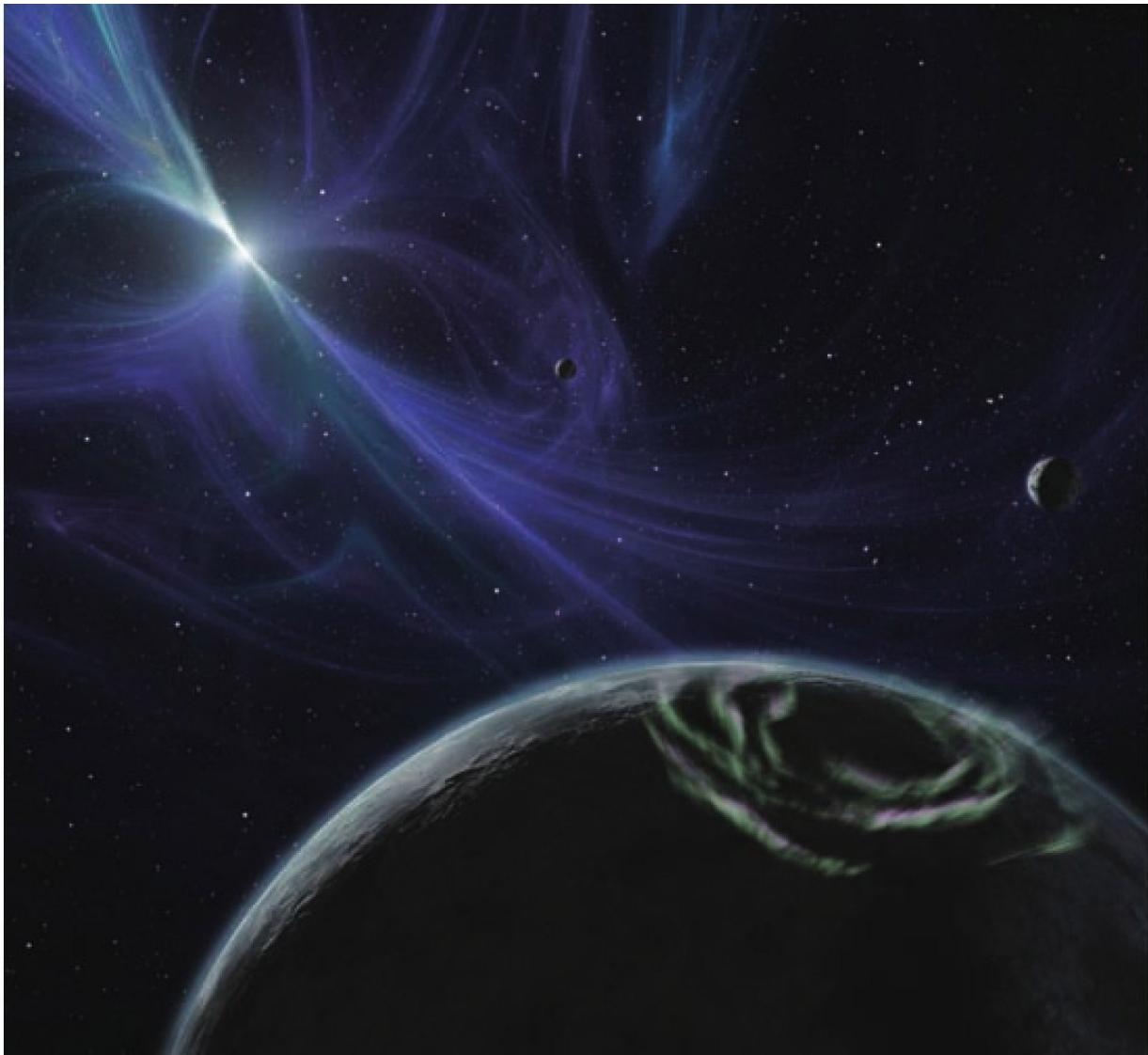
恒星，称为类太阳恒星或太阳型恒星。

因此，要在太阳系外寻找可能存在生命的天体，首先就得在银河系的星系宜居带中找到太阳型的恒星，然后再在这种恒星周围的宜居带中寻找类地型的、甚至就是地球型的行星。（刘炎）



⑩

经常爆发的恒星，其行星上很难有生命



⑩

在脉冲星近旁的行星上生命难以存活

【微博士】第一代恒星

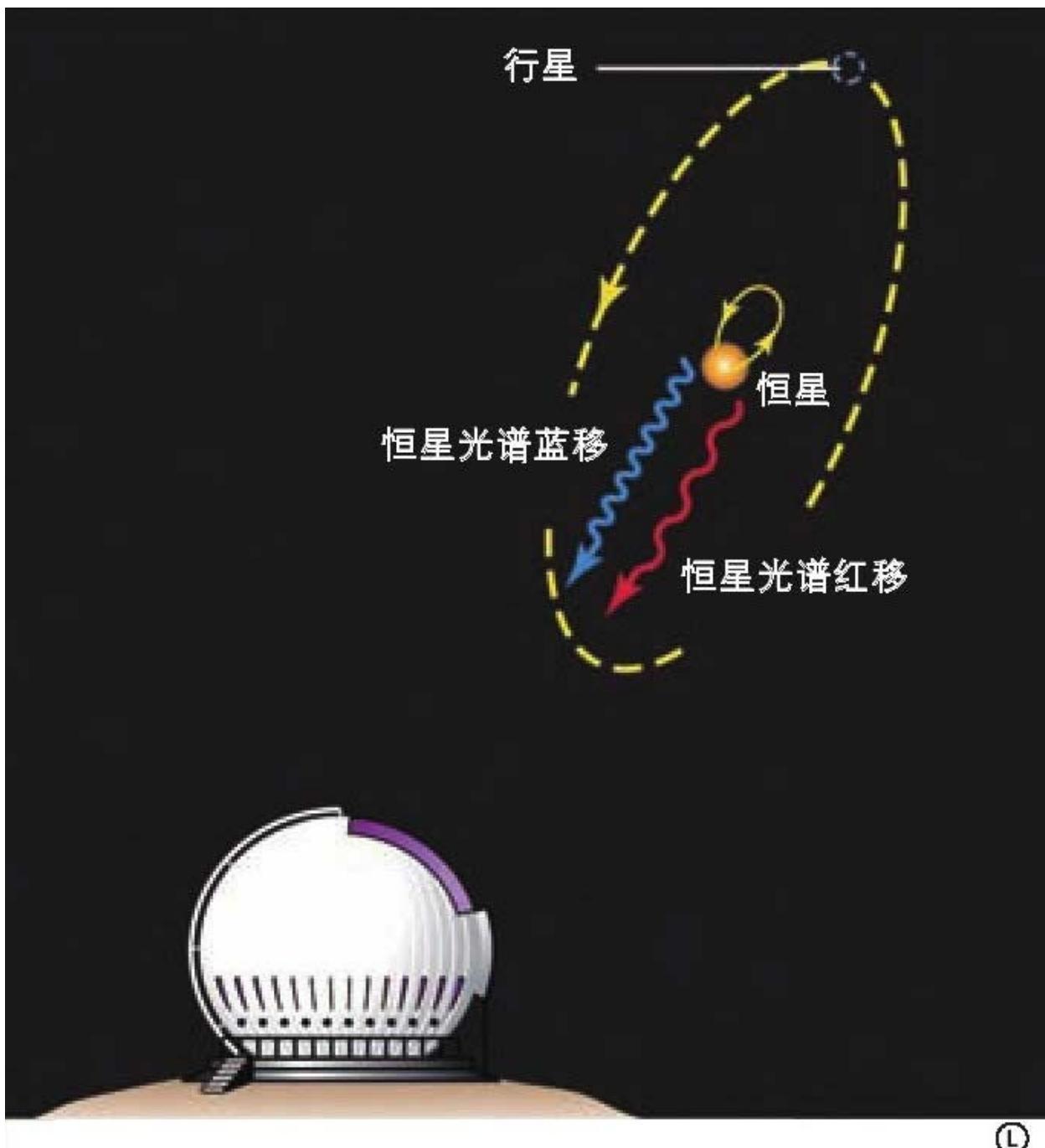
宇宙中的第一代恒星，在大爆炸后的1亿~2亿年之后就大量形成了，寿命只有几百万年，此前宇宙中没有任何金属元素。不同的金属元素是在恒星内部的核反应过程中依次形成的。第一代恒星诞生时不可能有金属元素。但是第一代恒星生命结束的时候，却往宇宙空间抛散了一部分金属元素；第二代恒星在第一代恒星的灰烬中诞生，当它瓦解时又生成了更多的重金属元素。太阳是一颗富含金属的第三代恒星，在银河系内，和太阳类似的第三代恒星主要分布在银盘中，而且还是在各条旋臂上。

【微问题】现在，你也可以设计一个宜居星球了吧，它需要什么条件？

【关键词】星周宜居带 星系宜居带 宜居行星 类太阳恒星

为什么天文学家能够发现太阳系外的行星

在地球上看太阳系内的行星，比如金星、木星、土星，都十分耀眼，甚至要亮于大多数恒星。但这些光辉都是行星反射的太阳光，只是因为行星离我们近，所以看起来才这么亮。如果我们飞到离太阳系较远的地方，就会发现行星反射的光远不能和太阳发出的光相比，再远的话，就只能看见太阳，而所有的行星，包括地球，都会淹没在黑暗的背景中。科学家们要寻找的系外行星也是如此。那么，既然很难直接“看到”这些不发光的行星，天文学家又是通过什么样的办法发现它们的呢？



视向速度法发现系外行星原理图

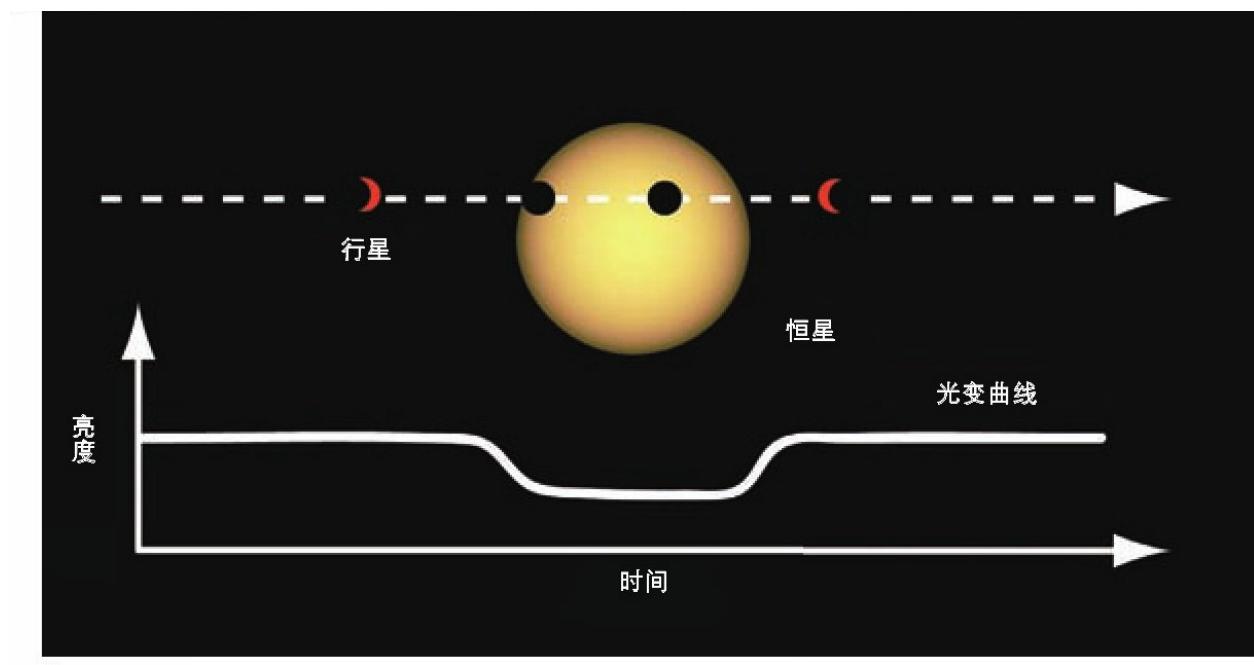
①

到目前为止，寻找系外行星最有效的两种方法是：视向速度法和掩星法。

视向速度法是利用多普勒效应的原理。如果一颗恒星周围有行星环绕它公转，那么恒星也会因受行星的影响而发生运动。如果此行星的公转轨

道平面和我们的视线方向平行，这样的恒星相对我们就会发生“远离——靠近”的周期运动。根据多普勒效应的原理，当恒星远离我们运动时，发出的光就会变红，而当恒星靠近我们运动时，发出的光就会变蓝。天文学家通过观测恒星光谱线红移或蓝移的变化，就可以测量出恒星运动速度的变化，从而就可以间接地判断该恒星周围是否有行星存在。

掩星法的原理和日食类似。当月球挡在地球和太阳之间时，会把太阳照射到地球上的部分光线挡住，我们就会看到日食。掩星法也利用同样的原理。行星是不发光的，它们环绕恒星转动时，如果恰好经过地球和恒星的连线，恒星发射到地球的光线，有一小部分就会被这颗行星遮挡住。从地球上就会发现这颗恒星变暗了，利用恒星是否具有这种周期性的明暗变化，就可以推断这颗恒星周围是否有行星了。



⑩

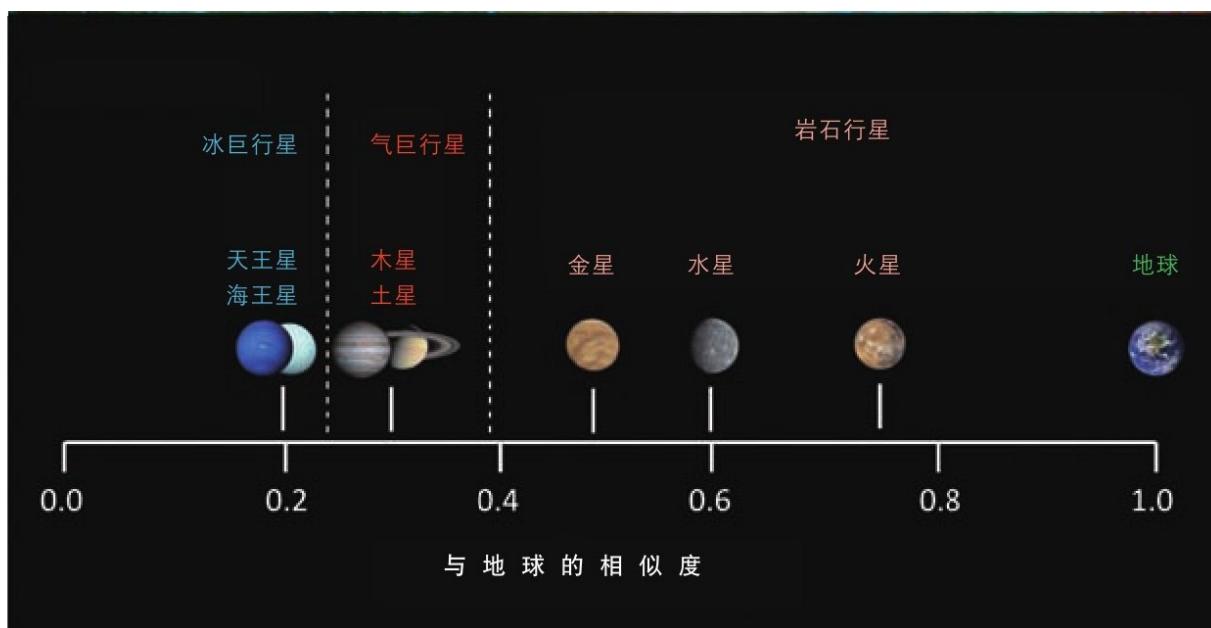
掩星法发现系外行星原理图

现在的系外行星几乎都是由上述这两种方法探测到的。随着科技的进步，探测系外行星的手段会越来越丰富、有效，肯定能观测到更多的系外行星。（刘慧根）

太阳系外的行星会不会大同小异

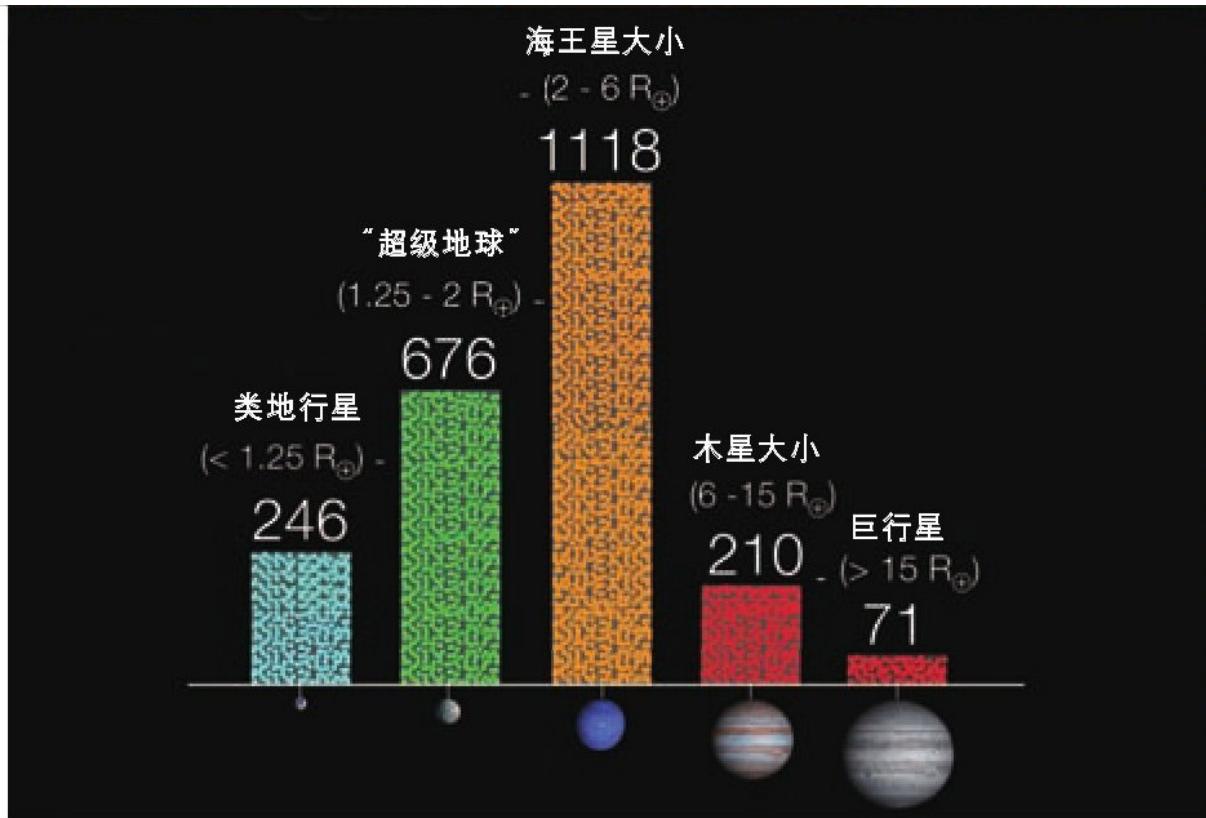
自1995年马约尔和奎罗兹发现环绕另一个“太阳”旋转的第一颗系外行星以来，人们对系外行星探测的热情与日俱增；天文学家至今已利用地面和空间望远镜发现了许许多多系外行星。这些行星千差万别，各具特色。

大部分系外行星可以按太阳系内的行星类型来进行分类。太阳系现在有八大行星，它们可以按组成的成分划分为三种类型：太阳系内侧的水星、金星、地球、火星质量都比较小，都有着固态的表面，主要由各类岩石组成，这种类似地球的行星称为“类地行星”或者“岩石行星”；木星和土星的质量和半径都很大，而且行星表面是浓密的气体，这样的行星称为“类木行星”或者“气巨行星”；太阳系外部的天王星、海王星，质量中等，主要由很多“冰块”组成，称为“类海行星”或“冰巨行星”。



②

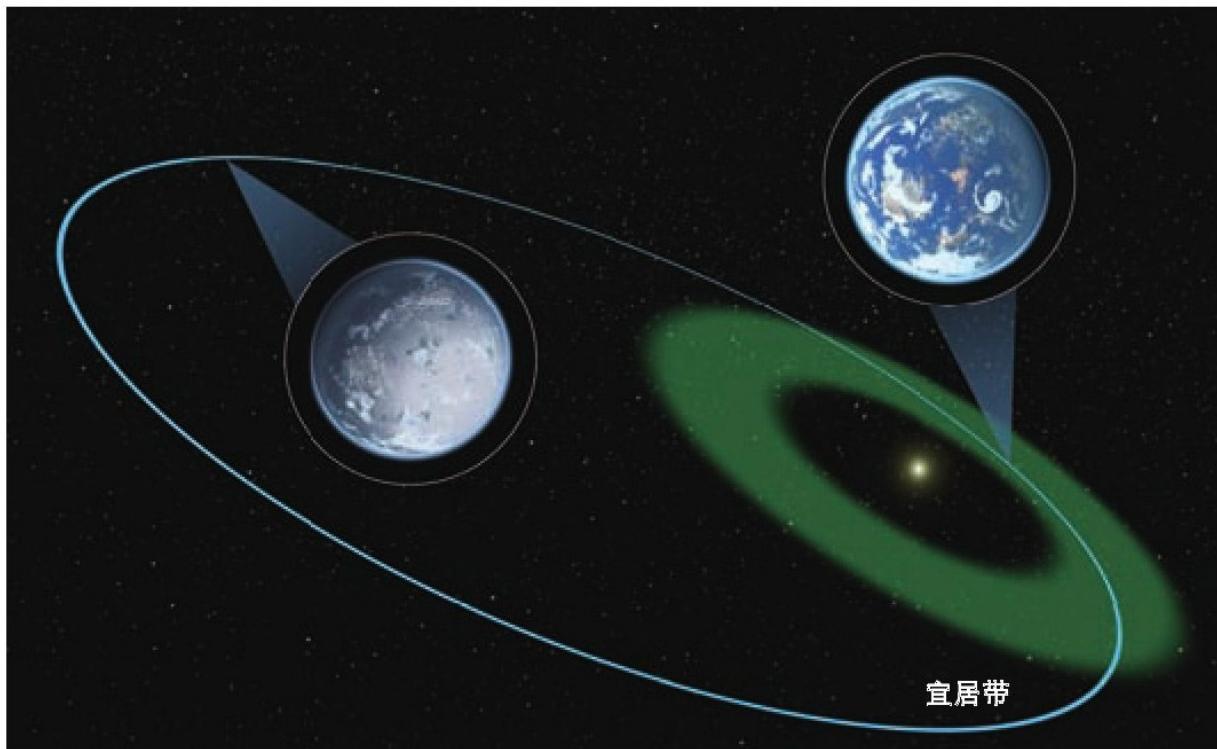
按行星组成成分分类，太阳系诸行星与地球的相似度



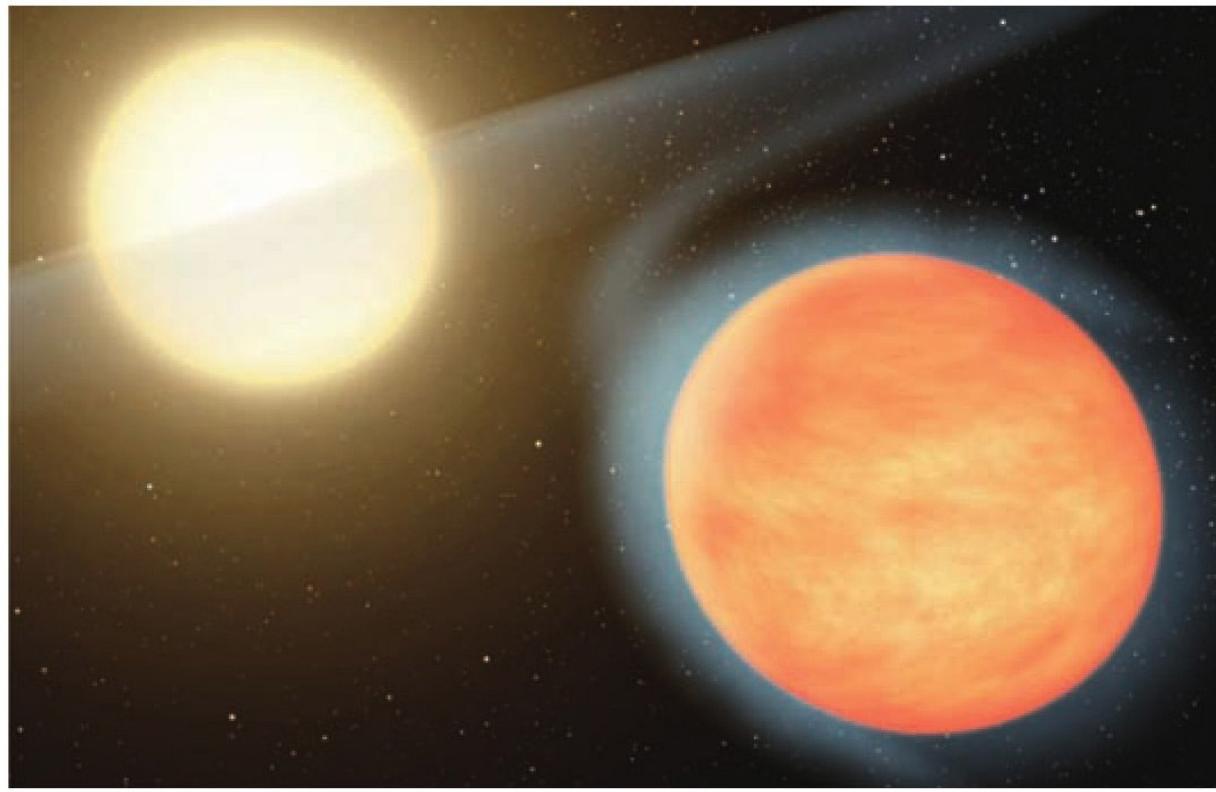
⑩

截至2012年2月，开普勒望远镜发现的系外行星候选者

另外，我们也可以按照距离恒星的远近来区分行星：公转周期小于10天，距离恒星很近的行星，表面温度很高，称为“热行星”；公转周期大于10天，距离恒星较远的行星，称为“冷行星”。当然，还可以根据其他标准来给行星分类，比如“宜居”和“不宜居”行星等。



④ 轨道像彗星轨道那样扁长的行星，大半“年”冰冻，小半“年”温暖，处于宜居带中的时间很短



⑤

WASP-12b距其母恒星很近，绕母行星公转一周仅需约1.1个地球日。它是一颗炽热的富含碳的行星，生命难以存在

我们探测到的系外行星中，很大一部分都是类木行星，尤其是热的类木行星；也有相当一部分是类海行星，但是类地行星的数目还不够多。这主要是因为热的类木行星质量大、距恒星近，对恒星运动的影响较大，容易探测，而类地行星质量小，难以被探测到。

天文学家也发现了和太阳系很不同的系外行星系统，例如比20个木星还要重的行星HD180314b；也发现了公转周期相当短的热行星，例如WASP-19b，这个行星上“一年”的长度还不到地球上的一天，几乎要撞上恒星了。

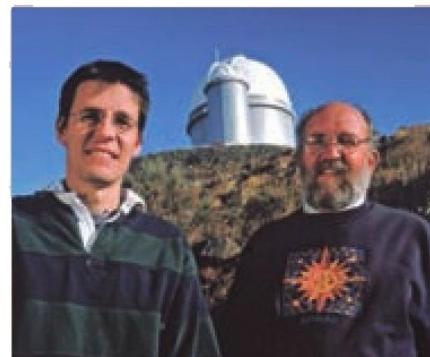
宇宙中的系外行星也像我们地球上的生命一样多姿多彩，各具特色。天文学家通过研究这些不同的行星系统的差异，加深了人们对茫茫宇宙的认识。（刘慧根）

【科学人】马约尔和奎洛兹

1995年，瑞士日内瓦天文台的天文学家米切尔·马约尔（右）和他的学生迪第埃尔·奎洛兹宣布，他们在距离太阳系50光年的飞马座51号星周围发现了一颗行星。这是人类在类似太阳的恒星周围发现的第一颗行星，在天文学尤其是系外行星探测上具有重大意义。

【微问题】太阳系内的行星怎么分类？

【关键词】系外行星 视向速度法 掩星法

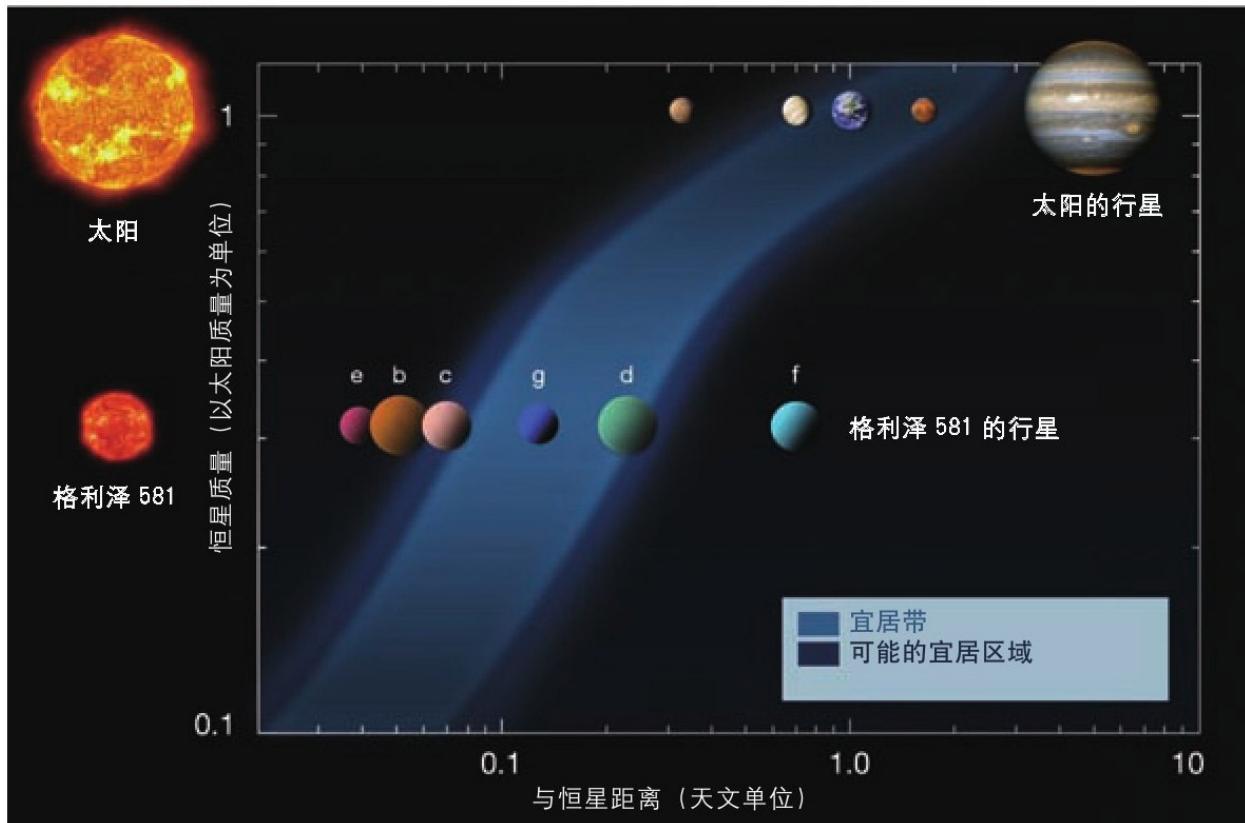


①

天文学家发现了什么样的太阳系外行星

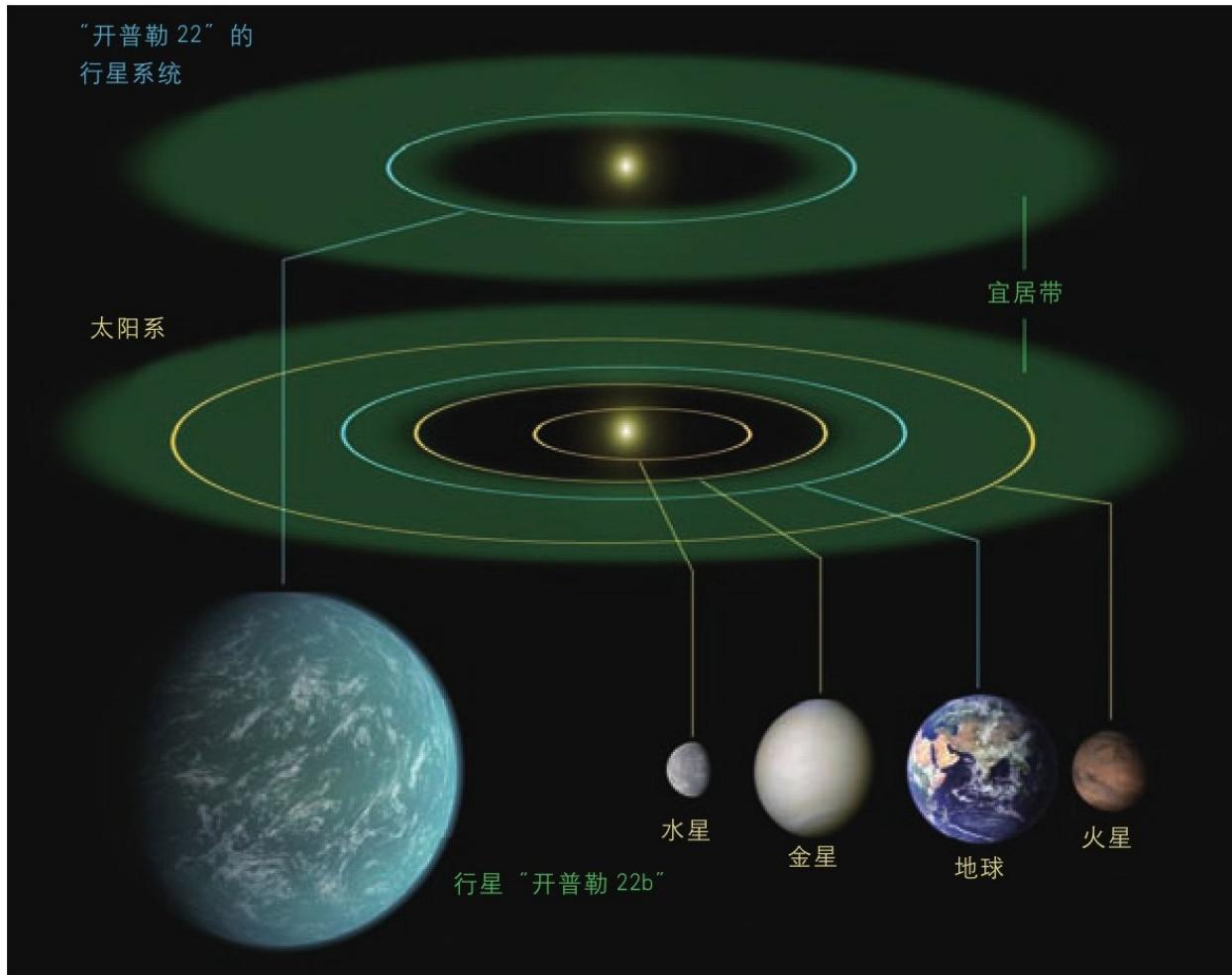
系外行星科学经过最近20年的迅速发展，已经取得了很丰富的成果。截至2012年初，已观测到超过700颗系外行星。在这些系外行星中，有许许多多有趣的行星系统，如天上有两个“太阳”的行星，环绕脉冲星旋转的行星，密度像泡沫塑料那样小的行星，还有的行星表面布满了甲烷汇成的湖泊和海洋……不过，它们大部分都不适合人类生存。比如行星“开普勒10b”，质量相当于4.6个地球，直径大概是地球的1.4倍，但它距离母恒星特别近，不在宜居带内。又比如“开普勒5b”，是质量非常大的行星。它的质量是地球的600倍左右，被浓密的气体包裹，温度可能达到1600°C，也不可能存在生命。其中只有10多颗行星，占已发现系外行星总数的2%左右，可能是“另一个地球”。

“格利泽581”行星系统是欧洲天文学家发现的，距离地球约20光年。这个行星系统有6颗行星，和太阳系相似。编号为格利泽581g、格利泽581d和格利泽581c的行星位于宜居带内。格利泽581g是一颗与地球类似的岩石行星，拥有和地球相似的稳定大气层，表面可以有湖泊、河流甚至海洋存在，重力也与地球接近，这意味着人在该行星表面上直立行走并不困难；格利泽581c也是与地球类似的岩石行星，但还不确定其大气层厚薄。如果它的大气层比金星还要厚，液态水将因温度过高而无法存在，也就不适合生命居住。格利泽581d的情况也尚未确定。



“格利泽581”行星系统和太阳系的比较，图中蓝色区域代表宜居带^⑩

编号为开普勒22b的行星是美国天文学家通过开普勒望远镜发现的，其直径是地球的2.4倍，这颗行星上的一年约为290天，和地球相差不大，它环绕的恒星也和我们的太阳十分相似。科学家们估计：这颗行星的表面温度约21℃，可能有液态水存在。这颗行星距离地球600光年，即使以光速飞行，从地球前往也需要600年才能到达那里。（刘慧根）



“开普勒22”行星系统的宜居带与太阳系的比较

W

【微博士】有多个“太阳”的行星

天上可能有两个“太阳”吗？在围绕着两颗恒星转动的行星上，就能看到这样的奇观。天文学家已经发现了若干个这样有趣的行星系统。比如开普勒16b，这个行星围绕着两颗距离很近的恒星公转。甚至还发现了天上有三个“太阳”的行星，如HD188753Ab，它在一个三合星系统中绕着主星旋转。

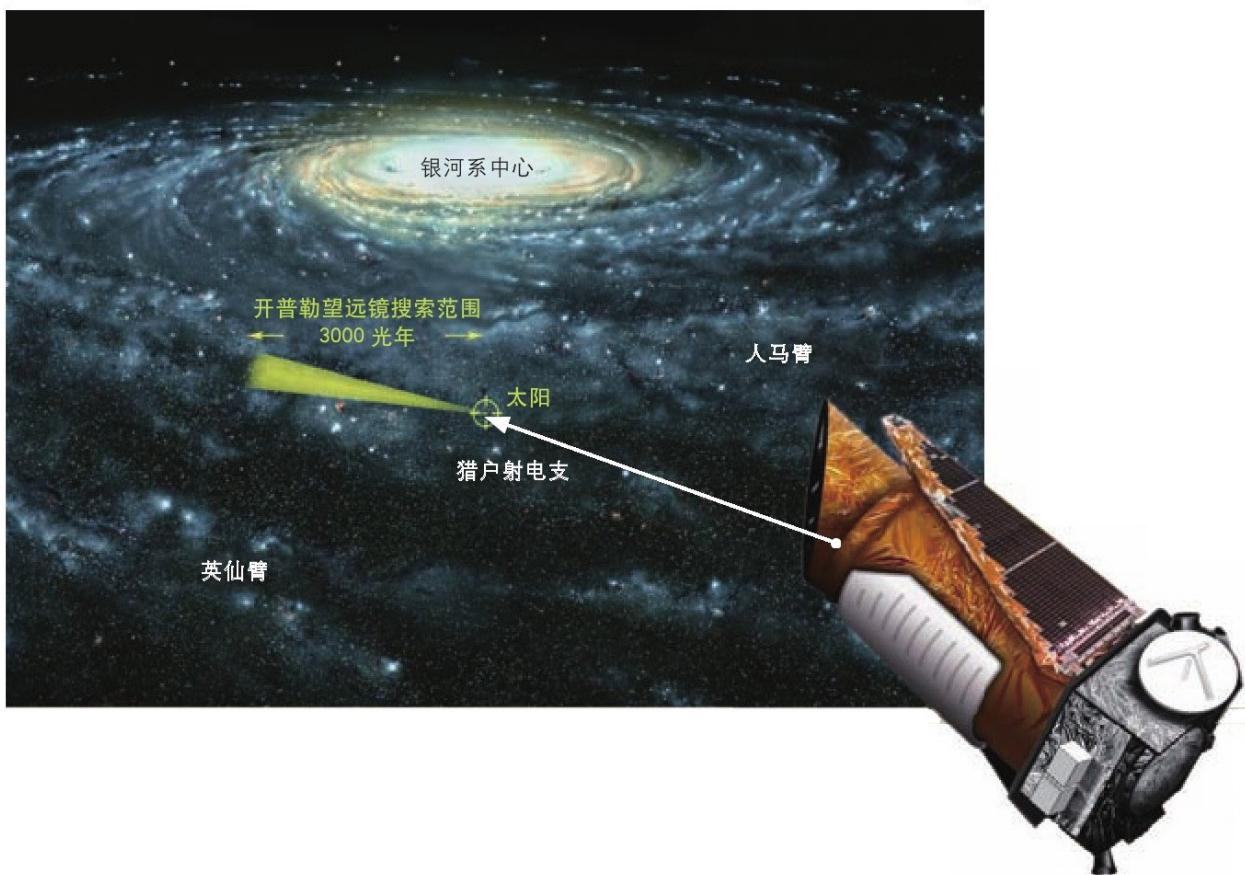


HD188753Ab上看到三个“太阳”

为什么搜寻太阳系外行星的计划如此庞大

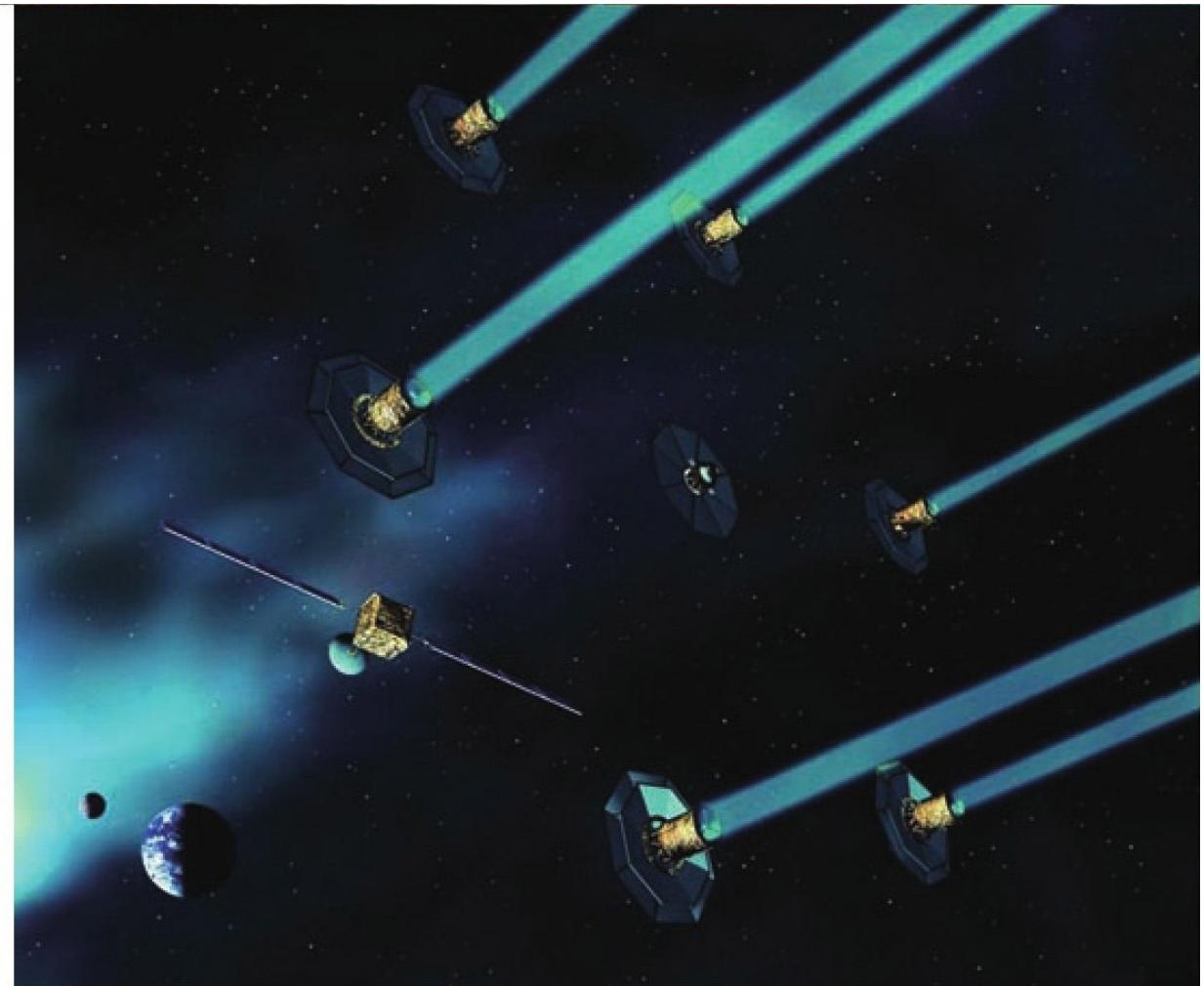
天上的恒星多如牛毛，到底哪些恒星周围才有“另一个地球”呢？这也是现在天文学界的热点问题。科学家制定了一系列庞大的空间探测计划，如“开普勒”计划、“盖亚”计划、“达尔文”计划、“类地行星搜寻者”计划等，希望找到这个问题的答案。

“开普勒”计划是最先实施的空间望远镜探测计划。“开普勒”望远镜于2009年3月6日发射上天，通过探测恒星亮度的周期性变化来搜寻太阳系外的行星，寻找银河系中的“另一个地球”，探测上面是否有生命的痕迹，看看地球在银河系中是否独一无二。到2013年7月，“开普勒”望远镜已确认了135颗太阳系外行星。



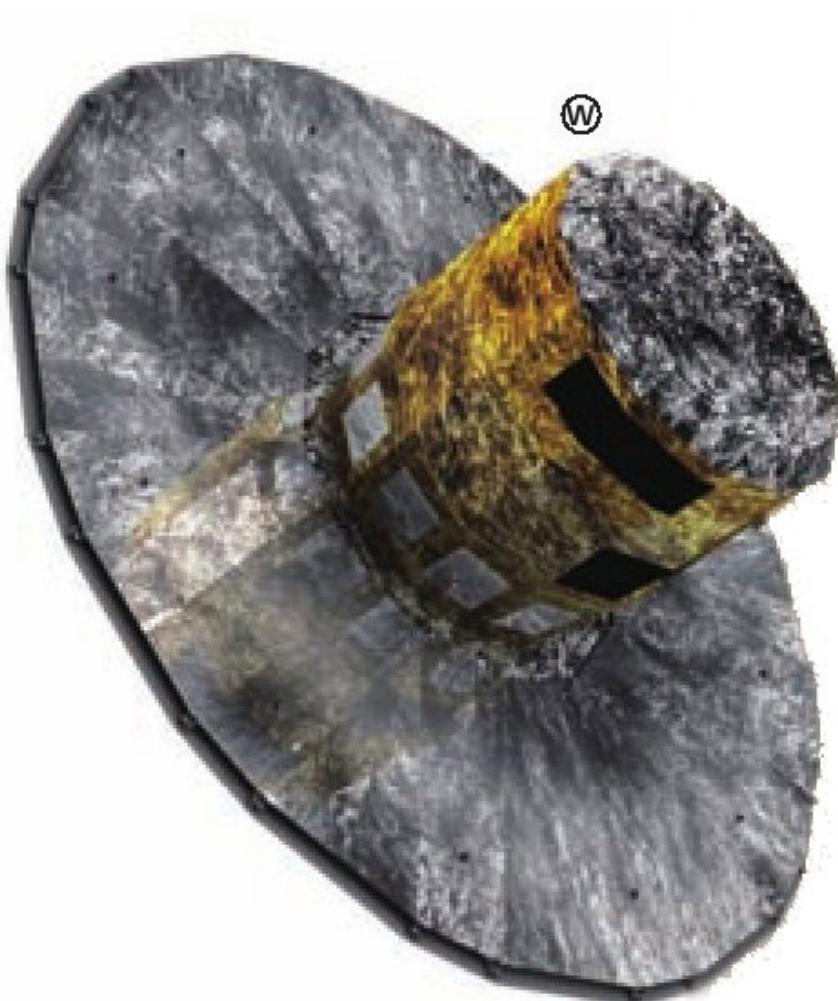
开普勒望远镜的探索范围

“盖亚”计划是欧洲空间局提出的空间望远镜计划，它的“盖亚”空间望远镜将停留在太阳和地球连线上靠地球外侧的地方，利用地球遮挡太阳光；为了减少阳光对仪器的影响，“盖亚”望远镜还将在太空中展开一块最大面积100平方米的遮光板。“盖亚”望远镜的目标是能确定至少10亿颗恒星的位置、颜色和真实运动。



①

达尔文计划的望远镜阵列



盖亚空间望远镜

“达尔文”计划由欧洲空间局制定，由8艘飞船装载着望远镜组成，形成一个望远镜“舰队”阵列，从而能看得更远，更清楚。这些飞船计划2015年发射，将通过观测恒星的微小运动来发现它们的行星。“达尔文”计划将不仅探测太阳系外行星，还将研究它们的大小、温度、大气等信息。

“类地行星搜寻者”计划由美国航空航天局提出，计划通过掩星法来搜索太阳系外行星，意在搜寻距地球45光年之内、约150颗恒星周围的另一个地球，计划于2015年发射升空。

以上这些空间探索计划无一不是复杂而庞大的工程。这是为什么呢？因为寻找地外生命是一项复杂而艰巨的任务，涉及天文、航空航天、生

物、化学等许多领域，而且一个空间望远镜项目耗资往往十分巨大，动辄几十亿甚至上百亿美元。因此，科学家必须小心谨慎地进行规划、设计，不能有半点差错。（刘慧根）

【微问题】你认为未来10年内科学家能寻找到多少太阳系外行星？

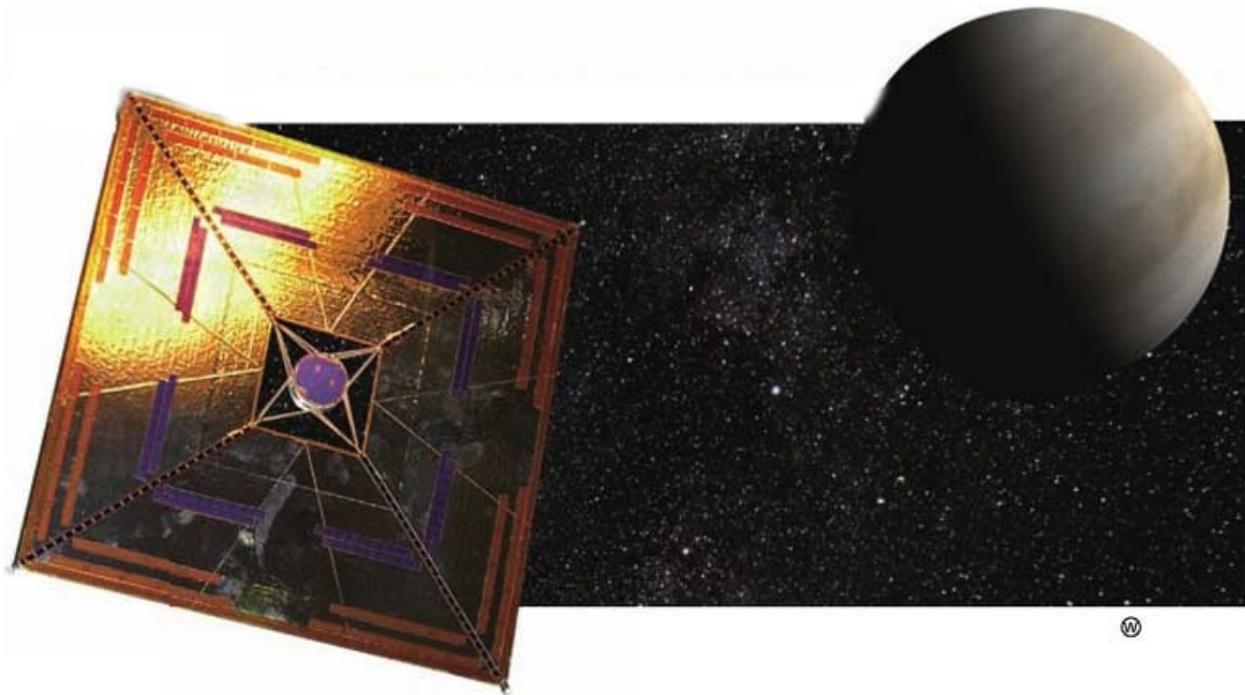
【关键词】太阳系外行星 达尔文计划

外星智慧生物比我们聪明吗

银河系和其他星系中，很可能存在着许多类似地球文明那样的外星文明世界。那么，外星文明世界中的高级智慧生物是否都会像地球上的人一样？甚至比地球人还要聪明？

天文学家早就在思考这些问题了。1964年，苏联天体物理学家卡尔达谢夫首先提出，宇宙中可能存在的各种文明的发展水平应该是不同的，用对能量的需求和驾驭能力作为综合性的指标进行衡量，这些文明可分为三个级别：

I型文明：只能驾驭其所在行星上的能量。行星上的能量包括行星自身所拥有的能量和母恒星传送到该行星上的能量。



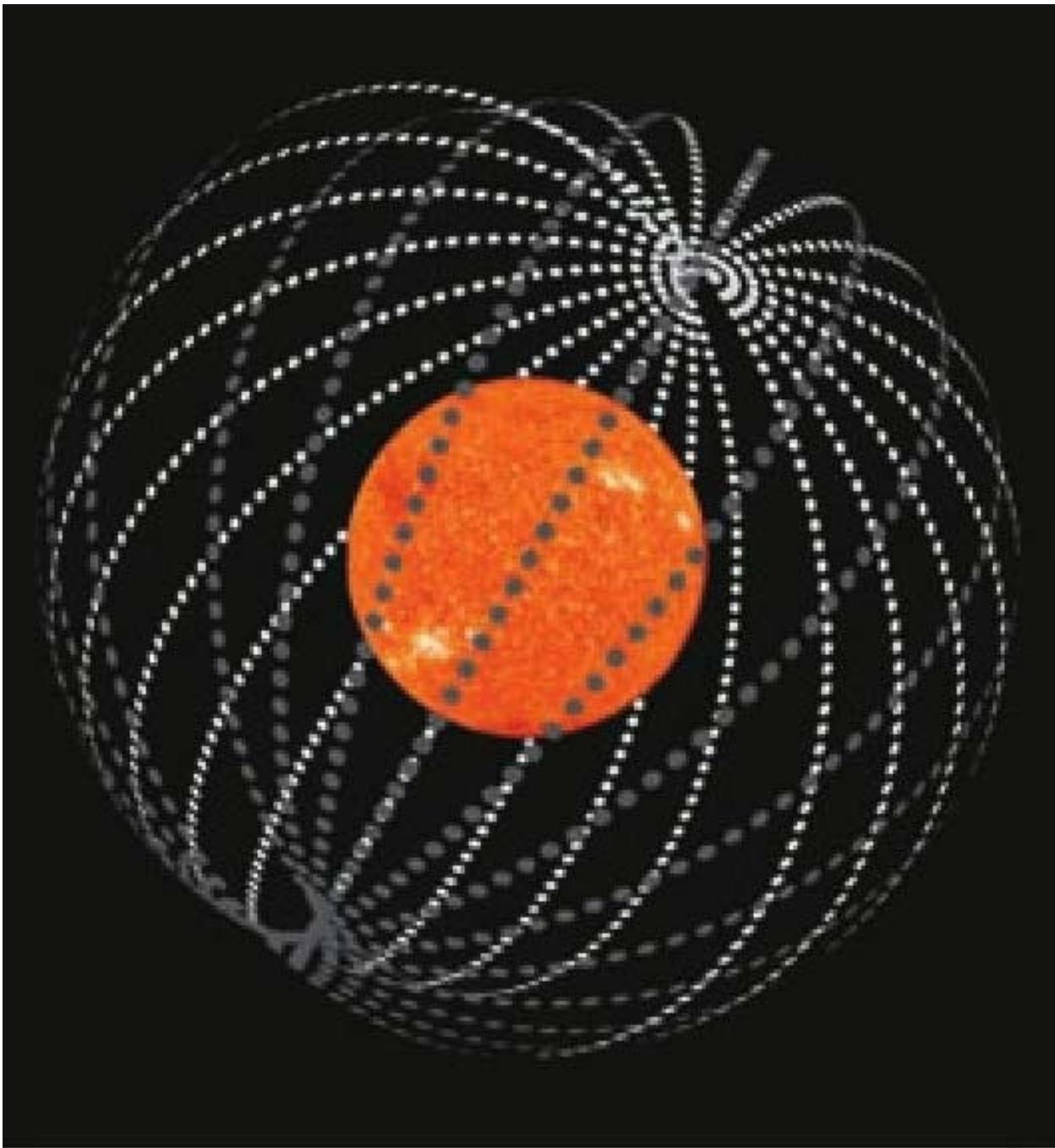
I型文明可借助“太阳帆”利用母恒星的光实现实星际旅行

II型文明：可以驾驭所在的恒星系统内的所有能量，其中最巨额的是母恒星发出的辐射能。II型文明使用能量的功率大致是I型文明的100亿

倍。

III型文明：可以驾驭所在星系中所有恒星的能量。其使用能量的功率大致又是II型文明的1000亿倍。

这种对宇宙文明三个级别的分类，已广为科学家和公众所接受。根据这个标准，地球人现今的文明水平显然还只是尚未充分发达的I型，据美国天文学家卡尔·萨根的意见，大致只有0.7的I型文明，因为人类甚至还未能充分利用地球上的能源。如果能掌握整个地球上的能量，人类就达到了I型文明的水平。未来，如果人类发展到可以掌握整个太阳系的能量，那就进入II型文明了。



科学家设想围绕太阳的“戴森球”可以吸收利用整个太阳的光

在外星文明世界中，有不少文明的水平也许还不及我们，可能还处于石器时代或青铜器时代，但也有可能很多外星文明已经远远超越人类的地球文明了。

假如我们在地球上竟然看到了“外星人”，那么因为他们能够来到这里，就一定要比我们聪明得多，高明得多，他们的文明水平很可能已经超过了I型，达到了II型！（刘炎）



在火星上采矿的想象图

【科学人】卡尔达谢夫

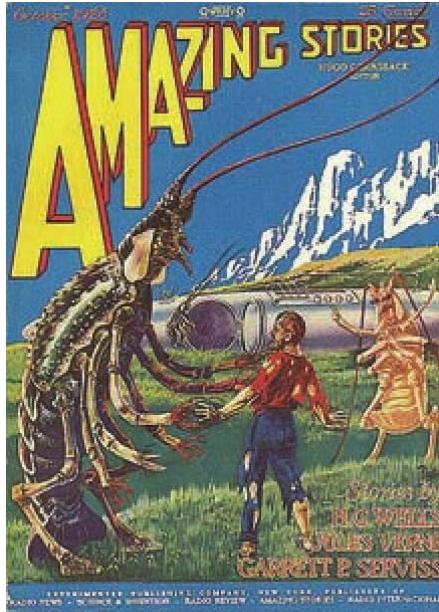
尼古拉·卡尔达谢夫（1932—），俄罗斯天体物理学和射电天文学家，俄罗斯科学院院士。他是地外文明探索学科的主要开创者之一，曾师从地外生命研究的先驱什克洛夫斯基。1963年，卡尔达谢夫在研究类星体CTA-102时引发了关于某些外星文明很可能比人类文明要先进数百万年、甚至数十亿年的想法。到1964年时，终于形成关于宇宙文明水平的三类分型方案。1980年和1988年曾两次获得苏联国家科技奖，2011年又获俄罗斯联邦国家奖。

银河系中可能有多少外星文明世界

很多科学家相信，在地球之外，银河系中可能有不少行星已经进化出



②



④

1926年《惊奇故事》杂志中想象的“龙虾人”

高级智慧生物，我们称之为外星智慧生命或地外智慧生物。他们在自己的行星上也构建了各自的文明世界，我们称之为外星的或地外的文明世界。

银河系中会有多少这样的文明世界呢？

1960年，一位年

轻的美国射电天文学家德雷克在位于西弗吉尼亚州格林班克的国家射电天文台举行的一次射电天文会议上提出了一个公式，用以估算银河系中有多少外星文明世界可能与我们进行无线电通信。这个公式后来被称为“德雷克方程”。

德雷克方程的形式如下：

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

公式中各项的说明如下：

N ——银河系中，可能具有星际无线电通信能力的地外文明世界的数量；

R^* ——银河系内恒星诞生的速率；

f_p ——恒星拥有行星的可能性；

n_e ——每颗恒星周围具备生命诞生条件的行星的平均数目；

f_l ——每颗如上所述的行星发展出初始生命的实际可能性；

f_i ——初始生命进化成智慧生物的实际可能性；

f_c ——发展至拥有星际通信能力的先进文明的可能性；

L ——拥有星际通信技术的文明世界能够延续的时间；

此后，在有关地外文明探索问题的讨论中，这个公式一直被大家作为基本的出发点。对于估算的结果，当年会议的参与者们就见解不一，较多的人认为可能有几亿个，而悲观者认为只是几百个！50多年来，科学家们对于N的大小作了种种估算，而差别依然极大，大致是从几百万到几百，最悲观的估计甚至是只有我们地球文明一个！（刘炎）



⑩

我们对生命尚知之甚少，比如，有没有可能存在像水熊虫这样可以在真空中存活的生物呢？

【科学人】德雷克

弗兰克·德雷克（1930—），美国天体物理学家，美国国家科学院院士，地外文明搜索（缩写为SETI）学科的主要开创者之一。1960年下半年，在美国国家射电天文台实施了著名的奥兹玛计划（OZMA），这是地球人首次对外星文明信号进行搜索和监听。同年11月，德雷克提出了一个估算外星文明数目的公式——闻名遐迩的德雷克方程。1972年，他和卡尔·萨根一起，共同为“先驱者号”飞船设计了一块外星人应能读懂的镀金信息板，第一次把地球人的信息送出太阳系。此后，他又监管“旅行者号”飞船携带的金质唱片内容的创制。1974年，在萨根的帮助下，他编制了著名的“阿雷西博信息”，首次以数字编码信息的形式向可能存在的外星文明发送。



⑪

【微问题】你也能来估算一下我们银河系中文明世界的数量吗？

【关键词】地外文明 德雷克方程 卡尔达谢夫分类

为什么要用射电望远镜探索地外文明的信息

银河系以及其他星系中的某些星球上，很可能也存在与地球人类文明相似的文明世界，我们该用什么方法探知他们呢？

人们想到，外星文明世界如果存在，一定也会像我们地球人一样，能进行无线电通信。而用于通信的电波信号与宇宙中天体所发出的天然电波（射电辐射）是不一样的，前者一定是经过编码和调制的有规律的信号，而后者往往是杂乱的无线电噪声，所以很容易把它们区分和检测出来。

那么，怎样才能探寻到可能是由外星文明世界的智慧生物发出的、经过编码和调制的有意义的无线电信息呢？科学家想到了射电望远镜。在20世纪50年代，人们已经能够制造大型的射电望远镜，已经能探测到来自深空的、极其微弱的无线电信息。它们是探测外星文明的好工具。

1959年，美国西弗吉尼亚州格林班克附近的国家射电天文台安装了一台26米口径的中型射电望远镜。在年轻的射电天文学家德雷克的鼓动和组织下，一群探索者在1960年5月利用这台望远镜开始了最早的探测。他们先后把射电望远镜指向了两颗类似太阳的恒星：鲸鱼座 τ 星和波江座 ϵ 星，在2个多月时间内总共观测了约200小时。德雷克把这次行动命名为“奥兹玛计划”，这是人类第一次尝试探索地外文明。

奥兹玛计划没有能检测到来自外星文明的信号，甚至没有发现任何有价值的信息，但它毕竟是开拓性的首次尝试，为此后的“SETI”探测项目开创了先河。SETI是英语“地外文明搜索”即Search for Extra-Terrestrial Intelligence的缩写。“奥兹玛计划”之后，50多年来科学家们进行了数十次SETI探测，如奥兹帕计划、多萝西计划、微波观测计划、地外射电信号百万通道和十亿通道监测、外星智慧生物射电信号的巡天搜索以及凤凰计划等。它们大多也以“奥兹玛计划”的方式作为模本。美国、苏联、澳大利亚、加拿大、德国、法国、荷兰等国家先后参加了这些探索计划。但遗憾

的是，所有这些计划和项目也都未收到任何可信的外星信号。（刘炎）



①

SETI计划的宣传画，右下角有该计划的标识

为什么要~~在~~1420兆赫频率上探测地外文明的信息

任何一台无线电通信设备，都只能发射或接收某个特定频率范围内的电波，这个频率称为工作频率。用射电望远镜搜索来自外星的信号，所用的工作频率也就必须与外星信号使用的频率一致。

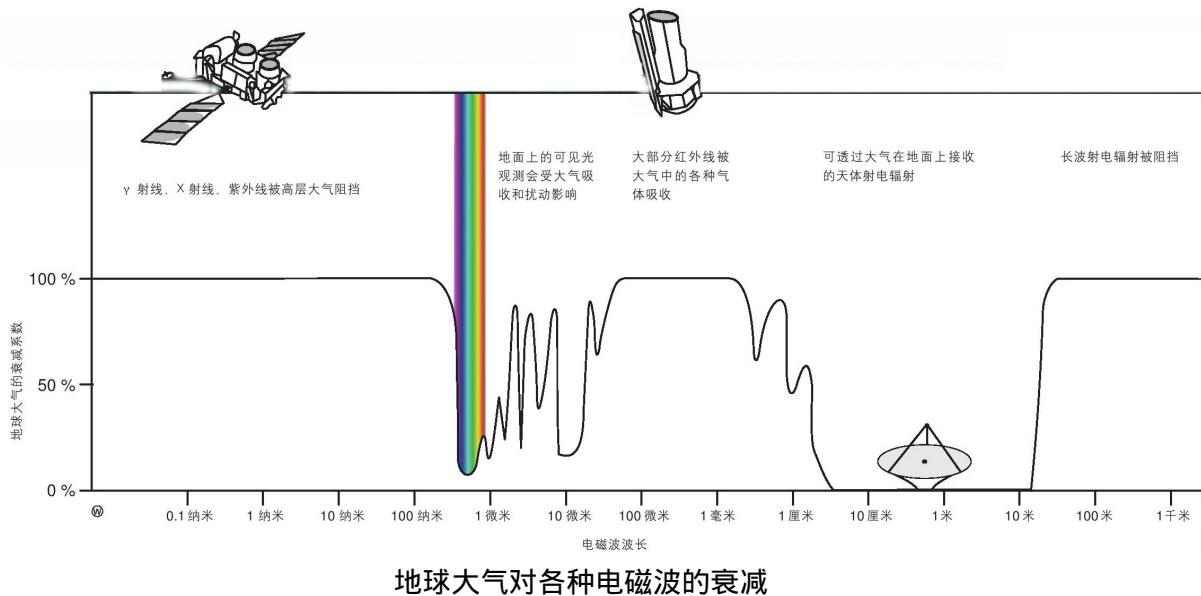
外星世界的智慧生物会用什么样的频率来进行星际通信呢？这是SETI计划首先就得考虑的关键问题。事实上，在最早的SETI检测行动之前，已

经有科学家在思索这个问题了。

1959年9月19日，世界著名的科学刊物美国的《自然》杂志刊登了莫里森和科可尼的论文“星际通信探索”。文章指出：

(1) 外星文明进行星际通信的最好方式是通过无线电波；

(2) 外星文明最有可能选择的通信频率应是1420兆赫，因为这是中性氢的原子所发射的一条著名谱线——21厘米谱线的频率，而氢元素又是宇宙中最丰富、最普遍存在的元素。宇宙中任何已经发展到足够水平的文明世界必然都会具备这一知识。



(3) 在1420兆赫频率附近的频段，是一个无线电相对宁静的区域，行星大气和银河系的背景辐射噪声几乎都是最小的。某个外星文明如果不想让自己发射的人工信号被淹没在天体辐射的自然噪声之中，这个频段将是一个合乎逻辑的选择。

(4) 当外星世界所发出的任何信号来到我们的地球时，其频率必然已有所偏离，这是多普勒效应的结果。因此，在搜寻一个外星文明信号时，还必须考虑这种频率漂移。

W



格林班克100米口径的射电望远镜

“星际通信探索”一文发表之时，也正是德雷克为“奥兹玛计划”紧张筹备的阶段，德雷克看到这篇文章后，受到了极大的鼓舞：因为莫里森和科可尼从理论上支持了1420兆赫的搜索频率。凑巧的是，德雷克选择的搜索频率正好也是1420兆赫，但那仅仅是为了节约经费，因为美国国家射电天文台在西弗吉尼亚州格林班克建造的那台26米口径射电望远镜的工作频率就是1420兆赫。（刘炎）

【科学人】莫里森

菲利普·莫里森（1915—2005），美国物理学家、天体物理学家，SETI的开拓者之一。1940年获加利福尼亚大学伯克利分校的博士学位，导师是罗伯特·奥本海默。1946-1964年期间，在康奈尔大学物理学院任教。

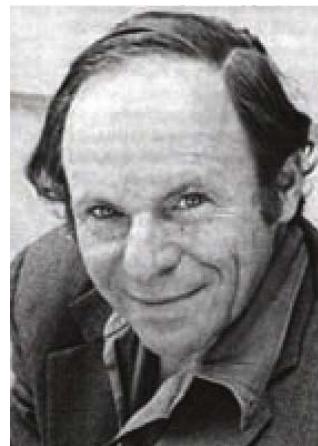
【科学人】科可尼

朱塞佩·科可尼（1914—2008），意大利物理学家、天体物理学家，曾任日内瓦欧洲核子研究中心的质子同步加速器负责人。1947-1963年期间，应邀去美国康奈尔大学从事天体物理研究，以粒子物理学家和SETI的开拓者之一而闻名于世。

1959年春天，莫里森和科可尼在对伽马射线进行研究时，触发了对星际通信方法的思考。经过认真探讨，他们一致认为，星际通信的最佳频率应该是中性氢原子谱线辐射的1420兆赫。这一开创性的研究结果发表在当年的《自然》杂志上，50多年来一直是指导SETI探索的重要文章。

【微问题】你认为地球人总有一天会收到外星文明世界发来的电波信号吗？

【关键词】SETI 射电望远镜 奥兹玛计划 21厘米氢线



④

为什么外星文明有可能理解我们的编码信息

如果要向外星文明世界发送关于地球人的信息，该用什么方式才能让他们理解呢？

可以合理地假定，能接收地球人无线电波的外星智慧生物，其智力应该不比我们差。那么，最容易理解的信息显然应该是图像——由一组编码信息解译出来的二维图像。但是外星文明能理解我们的无线电编码信息吗？

1960年，在弗吉尼亚州格林班克美国国家射电天文台举行的一次射电天文会议上，德雷克做了一次尝试。他给参加会议的每一个人都发了一份事先设计好的“外星来电”，就像电报的编码那样，上面写满了“0”和“1”，要求大家都来破译。有趣的是，大多数与会者竟都很快就解译出来了。

其实，推理的过程并不难。这张“电文”上，共有1271个二进位信息（0和1），而1271只能分解成31和41这两个素数的乘积。因此这应该是一个 (31×41) 单元（现今我们称之为“像素”）的阵列图像，如果我们在这个阵列单元的方框内，按顺序把单元“1”点在相应的位置上，就得到了一张有趣的图像：一个男人和一个女人抱着一个小孩，此外还包含了其他许多信息。



位于波多黎各岛上的阿雷西博射电望远镜



德雷克的这次测试大大加强了人们的信念。1974年11月16日，在庆祝阿雷西博射电望远镜改建完成之时，科学家用这架世界上最大的射电望远镜向武仙座中的M13星团方向发送了介绍地球人的信息。

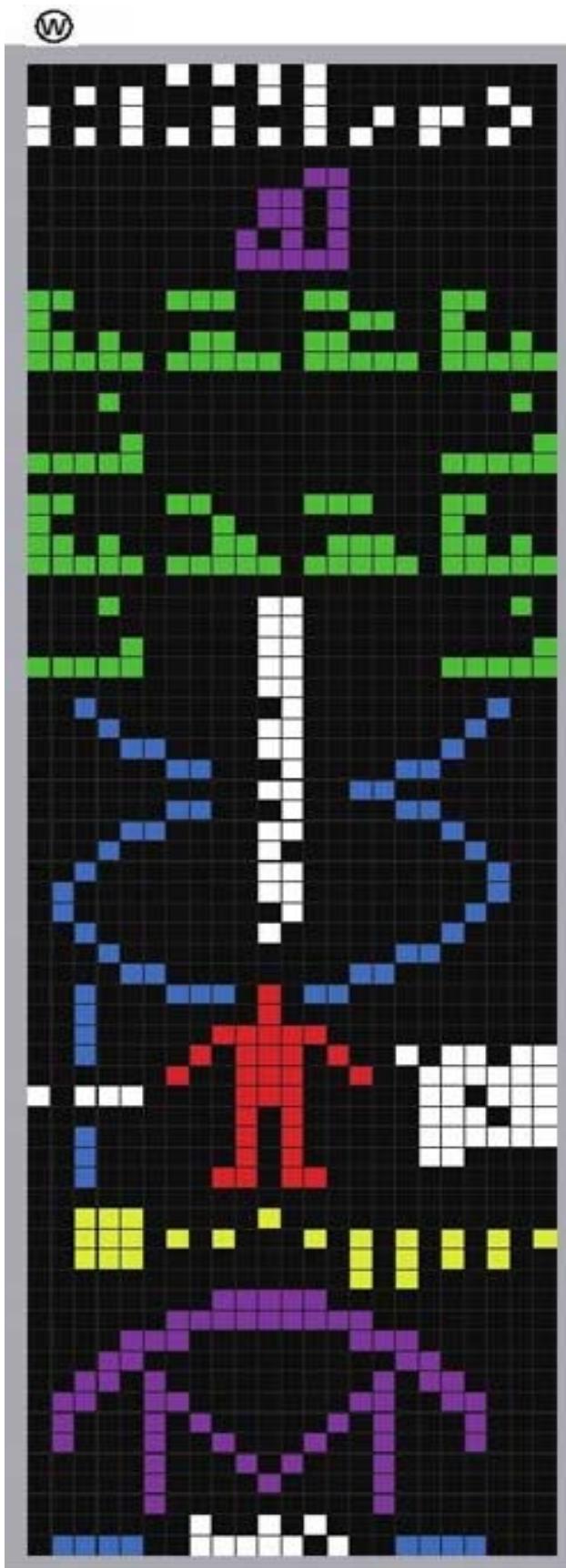
这组信息由1679个单元组成，1679只能分解成23和73两个质数的乘积，这些单元可以排列成73行23列的矩形图像。它的编码信息是德雷克在卡尔·萨根帮助下设计的，包含了相当丰富的内容。后来就以“阿雷西博信息”之名著称于世。

M13是北半天球最亮的球状星团，距离地球约25000光年。其中约有30万颗恒星，密集地拥挤在一个半径165光年的球状空间范围内，因此发送的

信号在那个方向被地外文明接收到的可能性也许会更高一些。不过很有可能，当2.5万年后阿雷西博信息抵达M13现在所处的位置时，这个球状星团早已移动到别的方向了。（刘炎）

【微博士】阿雷西博信息

阿雷西博信息分为五部分，第一部分由1、6、7、8、15五个二进制数码组成。这表示组成人类DNA的5种化学元素——氢、碳、氮、氧、磷。第二部分是DNA片段的12个组成部分，每个组成部分都用5个数字表示，这5个数字分别表示该部分含有多少氢、碳、氮、氧和磷。第三部分表示人类DNA的双螺旋结构。第四部分的中间是一个人，左边标示了人体的大致尺寸，它由一条与小人等高的竖线段和一个横写的二进制数14组成，表示人类的平均身高是这段电波波长（126毫米）的14倍，也就是1.764米。右边表示数字4292853750，是1974年时全球的人口数量。第五部分描绘太阳系，左边的大方块表示太阳，右边那些小块儿则表示九大行星（当时冥王星尚被视为太阳系的第九颗行星）。第三个小方块向上凸出，正对着上面的小人，表示地球人所在位置。最后一部分则是阿雷西博射电望远镜的形状，下面有一条与这个望远镜等宽的横线条，中间写有二进制数字2430，表示这台射电望远镜的直径是该电波波长的2430倍，也就是306米。



为什么“先驱者号”和“旅行者号”都带上了太空礼品

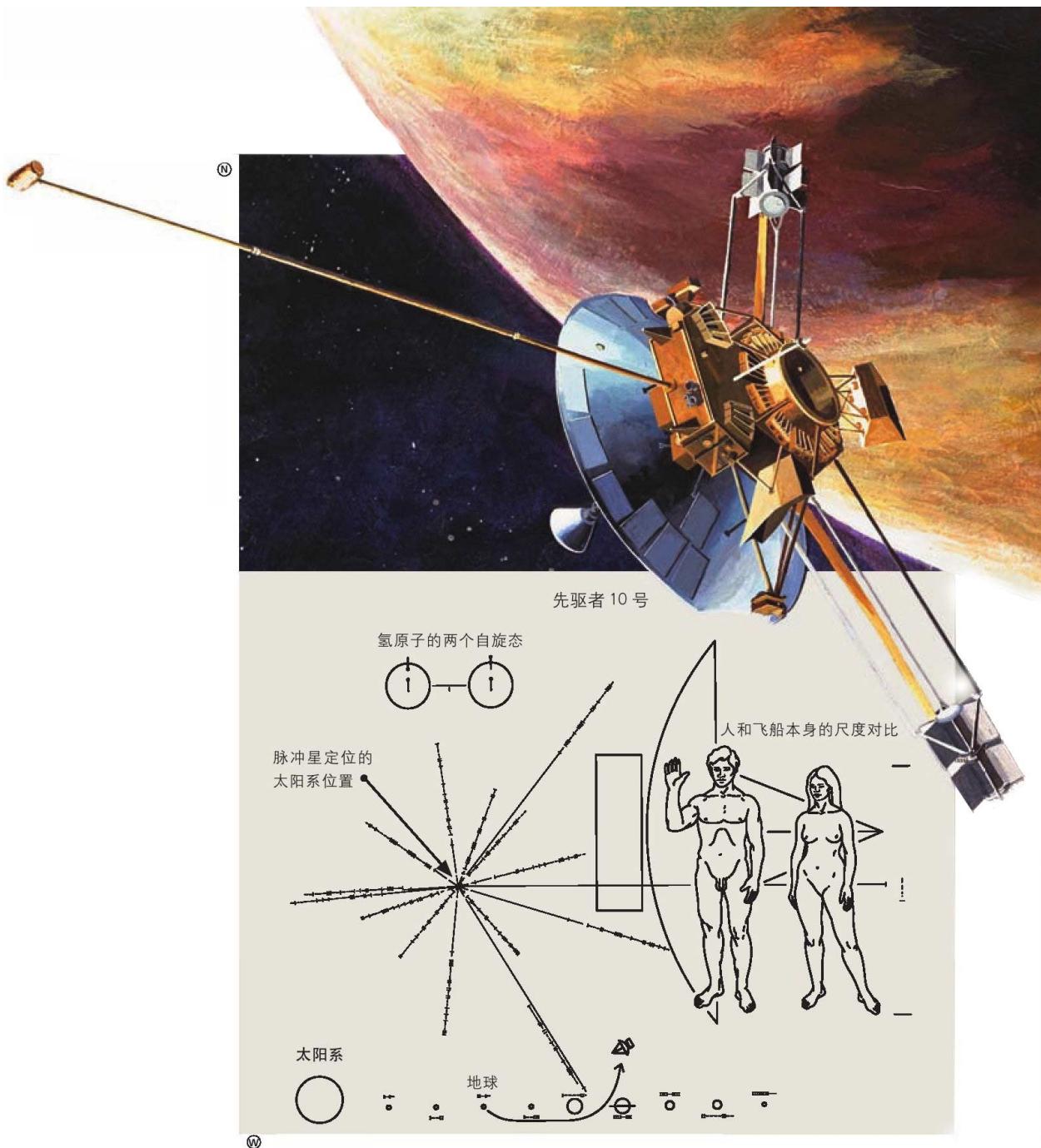
20世纪70-80年代，美国航空航天局发射了4艘著名的飞船：“先驱者10号”、“先驱者11号”、“旅行者1号”和“旅行者2号”。它们除了各自考察太阳系的一些主要天体外，都还负有一项共同的使命：把地球人自我介绍并致问候的“名片”带给可能存在的外星文明。

两艘“先驱者号”各携带一张相同的镀金铝板，长22.9厘米，宽15.2厘米，其上刻有一男一女的画像，那位男人正在招手致意。还有象征太阳系的信息，以及一些表示这艘星际飞船来历的符号。

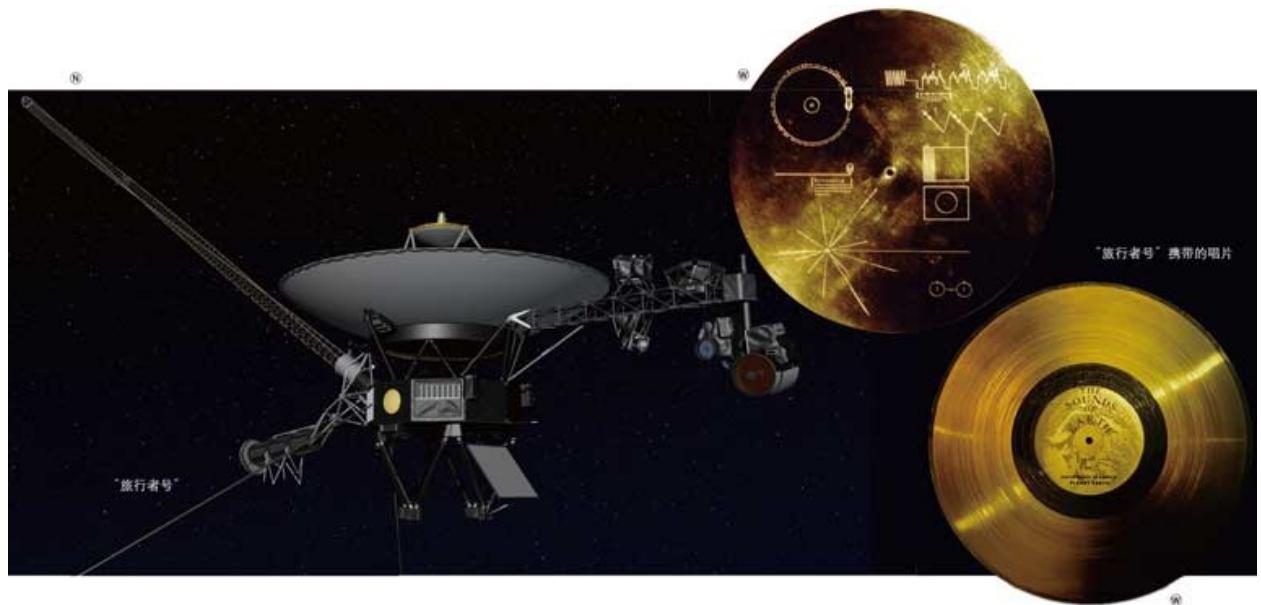
两艘“旅行者号”各携带一块相同的镀金唱片和一枚金刚石唱针。唱片名为“地球之音”，直径有22.9厘米，上面录制了我们人类向外星文明发出的55种问候语（包括中国的现代标准汉语、闽南方言、粤语和吴语）、长达90分钟的27首各国著名乐曲（包括中国传统名曲《流水》等）录音。还有115幅地球上各种事物和情景的图片。这两张唱片可以在宇宙中保存10亿年之久。

20世纪90年代，这4艘飞船都已到达冥王星的轨道之外，就像大海中的“漂流瓶”那样，带着我们地球人的信息和期望，向着浩瀚无际的宇宙深处飞去。

经历多少万年漫长漂流之后，它们也许会被某个外星文明世界截获，从而让他们知悉，银河系的某处也曾经有过一个地球人类的文明。也有可能，这些镀金铝板和唱片竟会被我们的遥远后代重新找到。当然更有可能，这几艘飞船最终都未能遇上任何文明世界，它们将在茫茫的宇宙之海中无尽地漂泊……（刘炎）



两艘“先驱者号”携带的信息板图案



“旅行者号”及其携带的镀金唱片

【微问题】你能设计一个自己的“阿雷西博信息”吗？

【关键词】阿雷西博信息 先驱者号 旅行者号

为什么现在还很难设想载人的恒星际航行

对于可能存在的外星文明世界，人类已经进行了射电信息的搜索，已经发送了表明地球人存在的“太空电报”，甚至已经向他们送出了人类的“名片”和礼物。那么下一步人类能否派出使节前去拜访？

要去拜访另一个文明世界，就得飞出太阳系，飞向另一个恒星世界。然而对于恒星际的飞行，如今还有许许多多难以克服的困难。

首先，恒星的距离极其遥远。即使是最近的恒星——半人马座的比邻星，离我们也有4.22光年，即约40万亿千米。用现今飞船的速度，大约要航行8万年。要经历如此漫长的飞行，简直是不可思议的。

能否缩短恒星际航行的时间？能否把飞船的速度加快，甚至接近光速呢？理论上这当然是可以的，但在人类现今的科技水平上，还很难设想！而且即使真的把飞船加速到了光速的一半以上，宇航员或星际使者往返比邻星一次，还得花上10多年。

于是又有了许多新的难题。10多年中，飞船可能出故障，甚至会被星际空间的流星体击伤，是否还得带上种种的备件和大修器材？宇航员要活着，就必须有足够的生活必需品，特别是食物和水。这些必需品是在起飞时就带上，还是在飞船上建造一个可以循环再生使用的封闭的生态系统？宇航员要是生病了怎么办，是否要带上各种可能用得着的药品？在星际飞行的大部分时间里，飞船都是处于惯性飞行的失重状态。在长期的失重和静止状态，如何保证宇航员的体质不致持续下降？是否配备必需的健身器材和锻炼的场所？10多年在一种极端封闭、单调、安静的环境中，孤单一人或只有少数几个同伴，宇航员的神经系统能否支撑得住？是否要考虑增加星际使者的人数，包括是否得配备一位全能的太空医生？于是，这艘设想中的星际飞船就不得不越来越大了。那么，它会建得多大呢？使用什么样的能源呢？又如何让它发射升空呢？这些都是在第一次恒星际飞行前必

须周密考虑的问题。目前，尽管已有种种设想，但人类还远远不知道该如何真正解决这些问题。（刘炎）

⑩



科幻电影中的星际旅行场景

【科学人】萨根

卡尔·萨根（1934—1996），美国天文学家，长期任康奈尔大学天文学与空间科学教授和行星研究中心主任。在太阳系空间探索、行星科学、地外生命等诸多方面都有卓越的贡献。萨根是地外文明探索的主要先驱者之一。1960年，他在弗吉尼亚州格林班克参加了著名的首次SETI会议，1966年与苏联天文学家什克洛夫斯基合著《宇宙中的智慧生命》一书，是地外文明探索的经典之作。1974年他帮助德雷克编写了阿雷西博射电信



息。“先驱者号”和“旅行者号”飞船携带的镀金铝板和镀金唱片也是由萨根负责、德雷克参与设计研制的。1982年他发动70位科学家，其中包括7位诺贝尔奖获得者签署一份呼吁书，倡议开展探索地外文明的SETI项目，发表在美国的《科学》杂志上，使这一尚有争议的领域获得了极大的支持。

为什么恒星际旅行要使用“太空方舟”

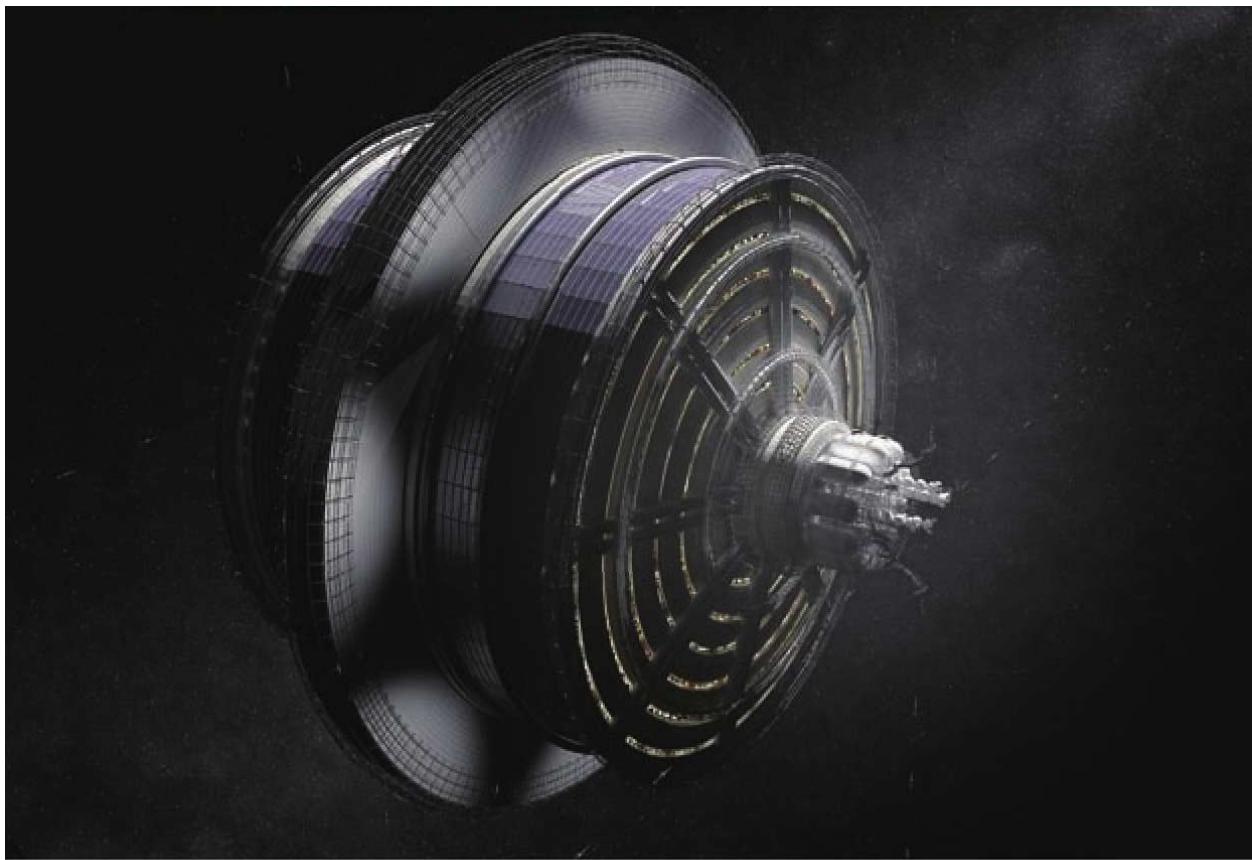
有人曾经提出过，把飞船的速度加快到超过光速，例如2倍的光速，这样往返比邻星一次的时间就只要4.22年了；而如果加速到8倍的光速，就只需1年多便能来回了。这就是所谓的超光速飞行，有些人甚至设想了种种奇特的方案，例如时空隧道、时间机器、虫洞等。但目前那都只是一些科幻式的构思而已，还没有任何现实意义。现代物理学根据爱因斯坦的相对论，认为宇宙中任何物体的速度都不可能超过光速，这就是所谓的“光速极限”。星际飞船的速度也不可能超越光速。

比光速慢但接近于光速的飞行，称为亚光速飞行，在物理学上是合理的。人们期望，当我们进入II型文明时就能解决这个问题。但即便如此，也只能前往离我们较近的恒星。对于再远一些的恒星际飞行，还有一个更加严峻的问题——人的寿命。人的寿命最多也就100岁左右，即使接近光速飞行时，相对论效应会让飞船上人的衰老速度变慢，也无法跨越太远的距离。于是出使的宇航员们将是“壮士一去兮不复返”了。解决这个问题的唯一方法，可能就是直接在飞船中培养下一代接班人了。

这样，飞船上搭载的就不仅是宇航员本人，还得加上他们的妻子、丈夫和儿女。或者也有可能，飞船上的年轻人就在航程中再组成新的家庭。于是又有了婴儿诞生的问题，进而更有孩子的教育问题等。这么多人员的生存和繁衍所需的种种物品已经不可能都在出发时从地球上带去，于是必须考虑飞船上物资的生产问题，必须安排工业、农业、各种制造业、服务业等。人员太多，就得有人管理，于是又来了官员、警察，甚至军队，进而又须得有决策和指挥的核心，甚至还需要一位元首了！

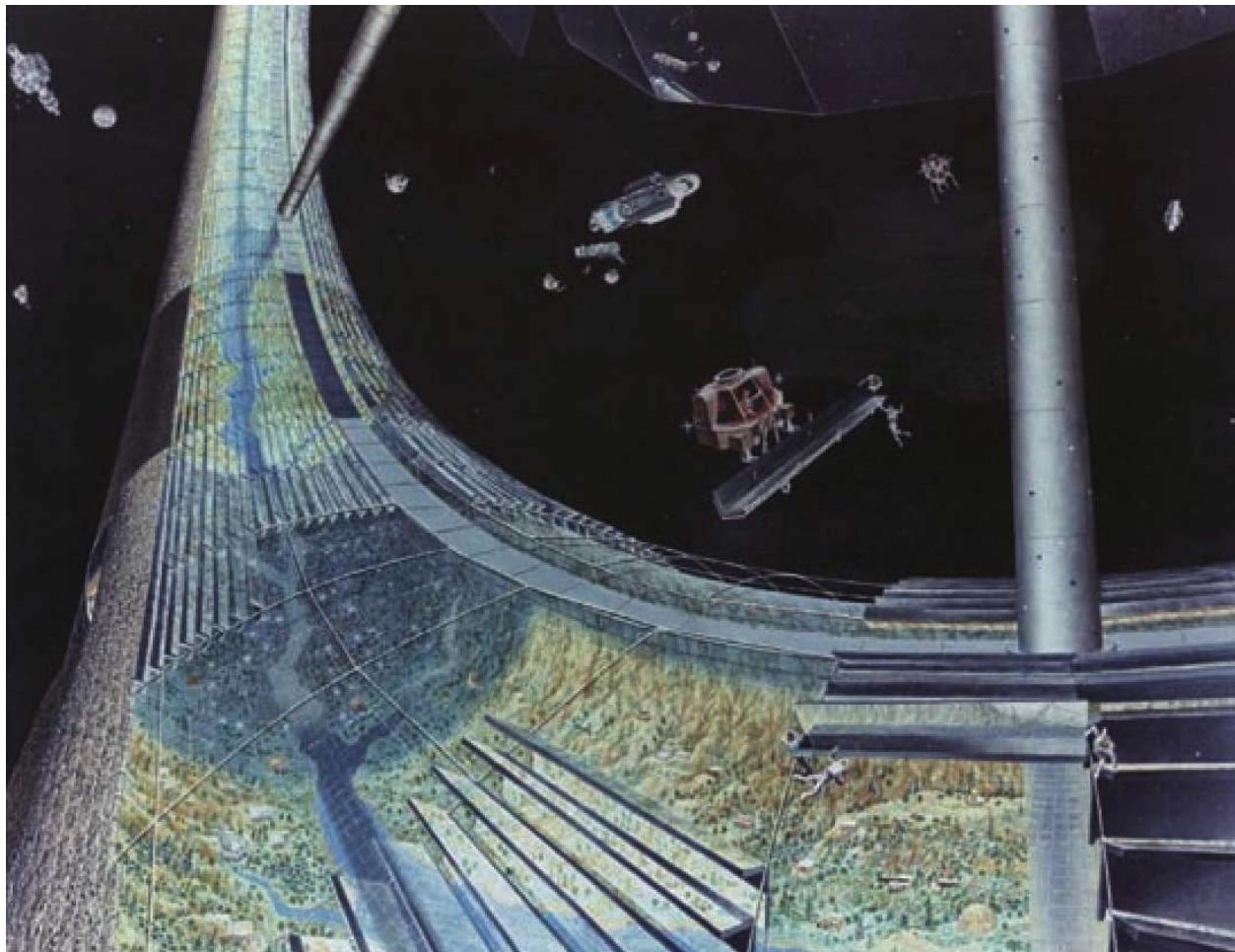
此时的飞船已不是一艘普通的飞行器了，它携带的是成千上万的人员，携带的是一个居住着大型使团的社区或小型的城市了。科学家把这样的一种飞行器称为“空间城”，有人甚至把它称为“太空方舟”，那就真有点像《圣经》中的“诺亚方舟”了。

方舟上的乘员作为地球人的代表，肩负着崇高的使命，乘着这样一艘代表当时最先进科技水平的飞船，向着茫茫太空进发，去寻访外星的文明世界。它们可能要经过许多世代的漫长航行，才能遇到几百甚至几千光年外的外星文明。如果寻访到了，该是如何地令人激动啊！然而，那时他们还能回来吗？当地球上出生的祖辈过世之后，在飞船上成长的子孙后代还会盼望返回地球吗？（刘炎）



⑩

“太空方舟”的可能模式，用自转提供人造重力



⑩

“太空方舟”可以携带一座小型的“空间城”

【微问题】你能设想一艘“太空方舟”的构造吗？

【关键词】恒星际航行 光速极限 空间城

为什么会有那么多的UFO

UFO，是英文Unidentified Flying Object的缩写，是“不明飞行物”的简称。任何一个身份尚未识别、来源未被判明的空中飞行物体，都可以被称为UFO。

当你看到某一房顶上空的不远处忽然闪过一个光点、光团甚至黑影，在还未认清是什么东西时，它又一下子迅速消失了，在尚未探明这个飞行物或现象的起因之前，你完全可以把它称作UFO。它可能是一架飞机，也可能是一个风筝；可能是一颗流星，也可能是一颗人造卫星；可能是一只飞鸟，甚至可能是一个人影；当然也不排除飞碟和外星人的可能。因此，UFO是一个包含范围极广的概念。它可以分为四大类：

(1) 地球上的自然现象，如各种大气光学现象、地震光现象、极光现象、生物发光现象等。

(2) 地球外的自然现象，即天文现象，如流星、彗星、月光和某些亮星等。

(3) 地球上的非自然（即人工）现象，如飞机、火箭、卫星、飞艇、风筝、孔明灯、地面激光等。比如2011年8月20日中国许多地方观测到的气泡状UFO，就是某个航天器在太空中排放燃料而形成的。近些年来，还有光学和数码摄影中出现的许多幻象被报告为UFO，比如照相机镜头中因为多层镜头的反射和折射造成的“鬼影”（眩光）。

(4) 地球外的非自然现象，即可能来自外星智慧生物或“外星人”的飞行器，也就是所谓的“飞碟”事件。

任何一个不明飞行物，在被辨认之前都可以被称为UFO。但一旦被识别，就必须、也只能归属于上述四类中的某一类。当然，还有一种情况，就是人类在特殊情况（比如过分紧张、神经或精神疾病时）出现的幻觉和

一些骗子制造的骗局。有一些流传很广的照片，后来就被证明是有意伪造的。

20世纪60年代，人类进入了空间时代，日新月异的太阳系空间探测成果大大开拓了人们的视野，激起了人们对地外生命和地外文明探索的强烈兴趣。80年代初，国际上的飞碟和UFO热潮又开始涌入中国，更引发了国内公众和媒体对飞碟和UFO的高度热情。从此，人们对太空、对天空的事物和现象也就更加关注了。

诚然，人们不可能立即就看清并理解所有突然发生的、奇异的、罕见的空中事件。它们在被识别之前，全都可以被称为UFO。但是，有人却有意无意地把这些UFO事件与“飞碟”、“外星人的飞行器”联系起来，进而被渲染、被夸张，闹得沸沸扬扬。这就是用猜想的“已知”来替代实际的“未知”了。（刘炎）



1952年1月31日，美国新泽西州的一例UFO报告（美国中央情报局档案）



W

“罗斯维尔事件”曾被认为是一次飞碟坠毁事件。图为罗斯维尔博物馆中的外星人“尸体”。但后来证实这些都是穿凿附会的想象

为什么说UFO≠飞碟

不少人都以为UFO就是飞碟，或者飞碟就是UFO。其实，这是一种严重的误解！

“飞碟”，是未经证实的飞行物。1871年1月，美国得克萨斯州有一位名叫约翰·马丁的农民告诉别人，他看到了一个圆形的物体以惊人的速度在空中飞行。记者在报道这消息时首次使用了“飞碟”一词，由此引发起世界上最早的飞碟热潮。

1947年，美国爱达荷州一家消防器材公司的老板肯尼思·阿诺德宣称，6月24日，当他驾驶自己的私人飞机途经华盛顿州，飞越雷尼尔山时，忽然发现前面有9个白色的圆形物体，“像大雁一样地排成一串快速飞过”，它们“像抛出的碟子掠过水面”，“飘忽不定地疾驰而去”。记者报道时，又使用了“飞碟”一词，而且把它与“外星人”联系了起来，由此激起了世界上第二次飞碟热潮。



④

《康登报告》所载在巴西拍到的一次荚状云，被误认为飞碟



◎

其实，荚状云是一种大气现象，常在湿润空气经过山脉上空时出现



(L)

镜头反光常被认为是“飞碟”，资料来自《康登报告》



L

用手掷飞盘伪造的“飞碟”，资料来自《康登报告》

从此，UFO就成了“外星人”飞行器的专用名词。很多公众都误以为“不明飞行物（UFO）=飞碟=外星人的飞行器”。为此美国空军组织了一个专门的工作小组，对所有报道过的UFO事件进行调查。自1951年夏天开始，这项工作正式定名为“蓝皮书计划”。“蓝皮书计划”调查后确认，曾经报道的UFO事件不会是外星飞船所为。1968年，美国空军又在科罗拉多大学组织了一个专家小组，由著名物理学家康登指导，进行全面、细致的研究。最后，由37位科学家联合撰写了一份《UFO的科学研究》报告。报告经过美国科学院的一个特别委员会审查，于1969年公开发表，这便是闻名遐迩的《康登报告》。该报告长达1465页，从视觉生理学、光学、天文学、气象学、心理学、工程



美国物理学家康登

学等角度，对UFO事件的目击描述、照片、雷达记录等做了充分分析，并开展实地调查、采访目击者。其结论是：应坚决摒弃“天外来客”的说法，而且对这类事件已无需再作进一步研究。

其实，天文学家对地外文明一直很感兴趣。在国际天文学联合会（IAU）中，专门有一个第51委员会——生物天文学委员会（地外生命探索），其任务就是联系、组织和协调世界各国的地外文明研究。但迄今还未找到任何确凿的证据，证明有外星智慧生物来过地球。（刘炎）

【微博士】通古斯之谜

通古斯是俄罗斯一条河流的名字，位于贝加尔湖西北约800千米。1908年6月30日上午7时许，那里的原始森林无人区突然发生猛烈的爆炸。远至1000千米以外的居民都听到了声响，许多欧洲国家的人们在夜空中看到了白昼般的闪光。根据当时的地震仪器记录测算，其爆炸威力相当于500颗扔在广岛的原子弹。2000平方千米以内的树木被焚毁，或由中心向外倒伏，1500多头驯鹿惨遭涂炭。对于当年此地究竟发生了什么事件，众说纷纭。多数人认为是彗星或小行星撞向地球，只是没有到达地面，而是在空中发生了爆炸。还有人提出诸如白矮星的超密碎片或微型黑洞撞向地球等种种猜测，难以定论。“通古斯之谜”也可以说是一种UFO现象，但与外星文明没有任何关系。

【微问题】你认为“外星人”已经驾乘“飞碟”来过地球吗？

【关键词】UFO 飞碟 外星人



通古斯爆炸后倒伏的森林[®]

附录 图片及辅文版权说明

图片版权

本书所使用的图片均标注有与版权所有者或提供者对应的标记。全书图片的版权说明如下：

- ④高品（上海）图像服务有限公司（Corbis Images）；
- ⑤华盖创意（天津）视讯科技有限公司（Getty Images）；
- ⑥北京全景视觉网络科技有限公司（全景）；
- ⑦维基百科（Wikipedia.org）网站；
- ⑧上海科学技术出版社；
- ⑨卞毓麟提供；
- ⑩邓君绘制；
- ⑪希罗月绘制；
- ⑫其他图片版权所有者或提供者：

P39，北欧光学望远镜；P41，国家航天局；P66，sunflowercosmos网站；P67，国际天文学联合会； P75右下、P183，欧洲空间局；P75右上、P90、P119、P180、P181，欧洲南方天文台；P93，哈佛史密松天体物理中心；P95，意大利国家天文研究所；P118，美国国家射电天文台；P177，美国海洋局；P185、P186，SETI项目；P192，美国中央情报局；P193，康登报告；

⑦其他图片版权所有者或提供者：

P6、P9、P27，卢昱绘制；P24、P39，汤海明摄；P35，卢昱摄；P44左下，郑浩摄；P44右上，周京磊摄； P48，施韡绘制；P52、P80、P166、P167，迢柳娟绘制；P72，谢懿提供；P76，张旭摄；P90、P142，傅承启提供；P105，陈力提供；P118、P119、P122、P128，赵君亮提供；P120，陈冬妮提供；P133、P137，陈学雷提供；P148，李剑龙提供；P157，萧耐园提供；P158，宣焕灿提供；P181，刘慧根提供；P184，刘炎提供。

辅文版权

本书的“科学人”、“微博士”、“实验场”除P24由汤海明编写，P30由林清编写，P134由李剑龙编写，P145、P148由邹振隆编写外，其他均由同页正文作者编写。

特别说明：本书中可能存在未能联系到版权所有者的图片，请见书后与上海世纪出版股份有限公司少年儿童出版社联系。

十万个为什么 第六版 出版工作委员会

主任

李远涛

副主任

周 晴 洪星范

编辑人员

(以姓氏笔画为序)

王 音 王 慧 卢 昱 朱 机 乔馥娟 孙正凡 岑建强 沈
岩 郝思军 黄劲草 梁玉婷 韩 静 裘树平 熊喆萍

设计总监

袁银昌

美术总监

费 嘉

美术编辑

费 嘉 张 怡 陈艳萍

印制总监

张伟群

技术编辑

张伟群 吴轶伟 胡厚源 陆 赞 许 辉

责任校对

石玲凤 王 曙 黄 岚 黄亚承 沈丽蓉 陶立新

特约编审

卞毓麟 方鸿辉 王义炯 范 泊

审稿、定稿、审读人员

(以姓氏笔画为序)

王 音	王 辉	王伟海	王霞梅	叶 剑	田廷彦	乐嘉民	匡志
强	乔馥娟	严 岷	李远涛	李维靖	吴延祺	岑建强	沈 岩
张 颖	张利雄	张毅颖	陆永洲	陈 浩	陈晏平	林丽成	周玉
刚	郑石平	郝思军	胡 毅	洪星范	徐红宝	隋淑光	董 放
韩绍伟	曾 文	曾建设	裘树平	虞信棠	魏昌富	濮紫兰	