

走向太空 - 记 21 世纪太空科学技术的兴起

Zouxiang Taikong JI 21 SHIJI TAIKONG KEXUE JI SHUDEXINGQI

恒星物理

孙彤 石雨祺 编著

宇宙 黑洞 外星人 反物质 神舟号飞船 嫦娥工程

光速 超新星 中子星 夸克星 火星 飞碟

太阳黑子 中微子 太阳系外行星 时光隧道 (时间机器) 脉冲星

恒星形成 霍金 SETI 科学 深空探测 冥王星 4

宇宙 黑洞 外星人 反物质 神舟号飞船 嫦娥工程

超新星 神舟号飞船 夸克星 火星 飞碟

太阳黑子 中微子 太阳系外行星 时光隧道 (时间机器) 脉冲星 恒星形成 霍金 SETI 科学 深空探测 冥王星 4

反物质 神舟号飞船 嫦娥工程 超光速 超新星 中子星 夸克星 火星 飞碟

太阳黑子 中微子 太阳系外行星 时光隧道 (时间机器) 脉冲星 恒星形成 霍金 SETI 科学 深空探测 冥王星 4

反物质 神舟号飞船 嫦娥工程 超光速 超新星 中子星 夸克星 火星 飞碟



山东出版集团 WWW.SDPRESS.COM.CN



山东科学技术出版社 WWW.LKJ.OOM.CN



走向太空——记21世纪太空科学的兴起

恒星物理

孙彤 石雨祺 编著



山东出版集团 WWW.SDPRESS.COM.CN



山东科学技术出版社 WWW.LKJ.COM.CN

按需印刷服务

为了更好地服务广大读者，山东科学技术出版社对于本社出版的网络版图书提供“按需印刷”服务。所谓按需印刷是指出版社根据读者的需求，利用先进的数字印刷技术为读者提供网络版图书的少量的印刷纸质版本。

详情请垂询：

联系信箱：wang_wei@sdpres.com.cn

联系电话：086-531-82098090

通信地址：中国·济南·玉函路16号

邮政编码：250002

走向太空——记21世纪太空科学的兴起 恒星物理

孙彤 石雨祺 编著

出版者：山东出版集团
山东科学技术出版社

地址：济南市玉函路16号

邮编：250002 电话：(0531) 82098090

网址：www.lkj.com.cn

电子邮件：sdkj@sdpres.com.cn

发行者：山东科学技术出版社

地址：济南市玉函路16号

邮编：250002 电话：(0531) 82098090

网址：www.lkj.com.cn

电子邮件：sdkj@sdpres.com.cn

开本：130mm×184mm B5

字数：35千

版次：2007年5月第1版第1次制作

图书编号：SDPH-04-P1-20070004

定价：6.00元

目 录

第一章 地球生命的创造者——太阳物理前沿……………2

对于地球上的万物来说，太阳可算是最重要的宇宙天体了。没有它，地球上将寸草不生，更不会有今日繁华的人类社会了。地球生命的产生是一个奇迹，很大程度上正是因为它与太阳处于不近不远的距离……使地球有可能有0到100℃的液态水存在，既不会热到把任何水都蒸发成水蒸气，又不会冷到结冰……

第二章 太阳脸上的“瑕疵”——黑子之谜……………13

太阳黑子大量出现的时候，太阳上的物质被抛向宇宙太空，同时会有一部分到达地球，从而影响到通讯，GPS定位系统，无线电导航等。到达地球的太阳高能粒子和电磁辐射也影响到了地球的磁场，由于地球上的生物对地球的磁场是非常敏感的，因此这种影响牵扯到地球上的生物，扰乱一些鸟类的生活习性，降低人体的免疫力……

第三章 解密夜空卫士——恒星形成物理……………24

在茫茫夜空中，星移斗转之间，人们总会发现有一些星星是静止不动的，它们安静而明亮，把夜晚的星空点缀得更加宁静而美丽。这些行星就像是一个个忠实的卫兵，站在自己那个固定的岗位上，多少年如一日，认真地守卫着各自的一角星空。它们就是恒星，宇宙中普遍而重要的天体之一……

第四章 探索庞大的源头——河外大质量恒星形成……………39

今天我们知道，恒星是由于巨大质量的分子云由于引力扰动而塌缩产生的。对于小质量恒星形成，目前的科学研究已经到达了一个相当的高度，这在上一章中大家已经有了初步了解。但是在质量恒星形成这个问题上，科学界还在众说纷纭，这作为天文学界的学术前言问题值得引起我们的关注……

第五章 摇篮中的它们——恒星诞生与相互作用……………50

恒星的形成，在某种意义上就像是一个人的诞生。人在诞生之前，要在母体的混沌世界中孕育漫长的十个月，经过激烈的分娩，积蓄了很久的新生命一朝诞生。在此之后，这个生命则要先后经历幼年、儿童、少年、青年、中年、老年等人生阶段，最后直至死亡。人类的一生很平常，但也很奇妙，然而一颗恒星的诞生过程是什么样的呢……

第六章 向璀璨成长——恒星的演化与动力……………59

恒星演化的历史需要人们去追寻，这是一个艰苦而又浩大的工程，需要世代的科学家们一步步去完成。人们在一代代的无穷的探索中感叹蹉跎，又在一次次新知获得时感受狂喜。博大神秘的天体科学本身就是一个巨大的陷阱，让深入其中的人们看不到边际，却又欲罢不能……

星系是宇宙的基本单元，是宇宙的细胞。恒星是星系的基本单元，是星系的细胞。恒星的研究对我们认识星系、认识宇宙有非常重要的意义，我们最亲切的太阳就是一个光亮无比、照料大地、孕育地球人的恒星。恒星世界光彩夺目，绚烂非常，给人博大的雄伟的气势和激荡寰宇的壮烈，就连死亡的时候也要向宇宙炫耀一下，超新星爆发释放出巨大的能量就是一个铁的证据。

恒星物理也是一个充满挑战的课题。恒星究竟是怎样形成，它又是怎样维持动辄就几十亿年的生命？它的能量又是从何而来？

恒星形成于分子云中，这是 20 世纪末天体物理学的一个重要发现。分子云主要由氢分子、CO 等分子以及尘埃组成，其中氢分子占绝大多数，尘埃占的比例相对较小。对于恒星形成的研究，主要通过分子云中分子跃迁辐射以及尘埃的连续辐射等手段。这样的研究需要射电和红外波段的观测设备，特别是在研究大质量恒星形成的时候这两个波段显得尤为重要。红外和射电技术在 20 世纪得到迅速发展，一批非常先进的设备相继诞生，这样给恒星形成的研究工作创造了前无仅有的条件，也正因为如此，恒星形成的研究也逐渐发展起来。在 21 世纪，大质量恒星形成研究已经是天体物理学一个非常热的研究课题。

恒星世界是绚烂的，21 世纪关于恒星世界的科学研究将更绚烂。本部分通过六章内容从不同的角度探讨恒星的身世问题，给读者展示人类在研究恒星——宇宙中最活跃的天体时的智慧，介绍恒星物理研究中的最基本问题和 21 世纪最热点前沿问题。

第一章 地球生命的创造者——太阳物 理前沿

本章科学人物

每个时代都有其神话，并称之为更高的真理。

——无名氏



贝塞尔

德国天文学家，数学家。1784年7月22日生于明登，1846年3月17日卒于柯尼斯堡。15岁辍学到不来梅一家商行学徒，业余学习天文、地理和数学。20岁时发表了有关彗星轨道测量的论文。1810年任新建的柯尼斯堡天文台台长，直至逝世。1812年当选为柏林科学院院士。贝塞尔的主要贡献在天文学，以《天文学基础》(1818)为标志发展了实验天文学，还编制基本星表，测定恒星视差，预言伴星的存在，导出用于天文计算的贝塞尔公式，较精确地计算出岁差常数等几个天文常数值，还编制大气折射表和大气折射公式，以修正其对天文观测的影响。他在数学研究中提出了贝塞尔函数，讨论了该函数的一系列性质及其求值方法，为解决物理学和天文学的有关问题提供了重要工具。此外，他在大地测量学方面也做出了一定贡献，提出贝塞尔地

球椭球体等观点。贝塞尔在天文学和数学上做出了卓越的贡献，他不屈不挠的精神激励后人前进，逆境成才。

对于地球上的万物来说，太阳可算是最重要的宇宙天体了。没有它，地球上将寸草不生，更不会有今日繁华的人类社会了。地球生命的产生是一个奇迹，很大程度上正是因为它与太阳处于不近不远的距离，这使到达地球的阳光量恰好，使地球有可能有 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的液态水存在，既不会热到把任何水都蒸发成水蒸气，又不会冷到水结冰。这个合适的距离是宇宙中一场奇妙的缘分，人类确实应该感谢太阳赋予他们出现和生存的可能。正是因为如此，自从人类把眼光望向天空，太阳便成为最重要的研究对象。太阳的年龄有五十亿岁，正处在它一生中的中年时期。科学家对太阳的研究工作可以追溯很远，可是一直以来人类对太阳的研究都仅仅停留在很表面的层次。当技术发展到现在，科学家可以借助各种探测仪器，对太阳进行更深层次的探测。这篇文章中主要是受了中科院汪景秀研究员关于太阳物理研究前沿所做的一场报告的启发写出的。现在和大家分享报告里面的一些精彩内容。

太阳是太阳系的核心，同时也是最重要的天体。它的直径达 140 多万公里，是地球的一百多倍；质量占整个太阳系的 99.8%；从体积上来看，它可以容纳大约 130 万个地球。我们平时所感觉到的只是太阳和煦的阳光，其实它的表面温度高达 5 800 开氏度，核心的温度等高达 15 600 000 开氏度。在那儿每时每刻都发生着氢—氦核聚变反应，根据推算，这种核聚变反应每秒钟要消耗掉约五百万吨的物质，它们转换成能量以光子的形式释放出来。它们从太阳中心出发向外围逐步释放，先要经过辐射带，沿途在与原子微粒的碰撞中逐

渐散失能量；在后面要经过的对流带中，光子的能量还要被炽热的气体吸收；而到达对流带边缘后，光子由于几次的能量散失温度已经冷却到 $5\,500^{\circ}\text{C}$ 左右了。当这些光子最终从太阳中心到达其表面时要花上足是一百多万年的时间。

太阳分为光球层、色球层和日冕层三个层次。我们所能直接看到的是位于太阳表面的光球层。光球层的太阳活动比较活跃，温度约为 $6\,000^{\circ}\text{C}$ ，属于太阳比较“凉爽”的部分。光球层的一些局部的温度较低，这些部位也就显得比其他地方颜色暗淡，这就是著名的“黑子”。一般说来，一个黑子群中有 2 个主要黑子，在太阳的两个半球，黑子群的磁极性分布状况是正好相反的。在一个太阳活动周期结束，另一个周期开始时，上述磁极性分布便全部颠倒过来。黑子的低温、物质运动和结构模型都与磁场息息相关，因此强磁场是太阳黑子最基本的特征。太阳黑子是太阳活动中最显著的形式，研究它对于探究太阳本身具有非常大的意义，我们在下一个章节中对于黑子还会有详细的介绍。

在黑子上面有一个个起伏的对流单元，与庞大的太阳相比，它们就像是一个个“米粒”。可千万不要以为那真是像我们熟悉的米粒那样小巧，因为这每个“米粒”的直径在 1 600 公里左右，它们是从太阳内部上升的热气流所造成的。光球层外就是色球层，这一层中有太阳耀斑，它们是黑子形成前产生的灼热氢云。太阳的最外层是日冕层，它非常庞大但人们只有在日全食时才可看到它，这时的日冕往往可以向太空绵延数百万公里。日冕层中最著名的太阳活动是“日珥”，

它是从色球层顶端喷出的巨大火焰，景象极为壮观。另外，太阳还会产生一种叫太阳风的低密度粒子流，它以每秒 450 公里的速度向宇宙空间辐射，对太阳系的天体有一定影响，比如地球和其他某些行星的极光就是太阳风所带来的。如果一段时间内太阳风异常强大，便形成了太阳风暴，在风暴最猛烈的时候，会对地球造成一定的影响。

太阳是太阳系中无可争议的核心，但是一旦把它放在浩瀚的宇宙中，太阳便谈不上有什么特殊性了。至今为止，人类认识到的组成银河系的有大约两千亿颗恒星，而太阳只是其中中等大小的一颗，而体积质量比太阳大上百倍的恒星比比皆是。在宇宙层面上，恒星系统是智慧生命可能存在的基本单位。类似于太阳系的星系最有可能孕育着其他生命，甚至有可能存在比人类进化到更高阶段的生命。研究太阳系的起源，可以帮助我们能够更好地理解生命，能够更好地回答生命起源这个重要的问题。

如今的对太阳系的研究现在已经不再仅仅停留在对太阳周期、太阳表面的一些观测。更新的理论认为于太阳磁场的研究有很重要的科学意义。在宇宙中，存在着分布广泛的磁场，存在着磁场的相互作用，就仿佛引力相互作用一样。宇宙中磁场的相互作用引导和影响整个天体物理学。这也就不难理解我们为什么对于太阳磁场的研究也非常的重视了。太阳变化对于人类生存的影响的研究已经成为理解生命起源和对复杂电磁环境的可适应性、人类地外可居住性的关键所在。

太阳物理在 21 世纪引来了它发展的黄金阶段。美国国家航空航天局等其他国际航天机构都制定了研究太阳的空间计划，探测水平上了一个新的台阶。

在了解了一些简单的太阳物理研究问题之后，让我们通过下面这张表格对于太阳的研究历史做一个简单的回顾。

表 1—1 太阳的研究历史

时间	太阳研究进展
1610~1613 年	伽利略利用望远镜，观测到了太阳黑子
1724 年	G. Graham 和 A. Celsius 于发现了地磁暴
1802~1815 年	W. H. Wollaston 和 J. von Fraunhofer 发现了太阳吸收光谱
1844 年	S. H. Schwabe 发现了太阳黑子的 11 年活跃周期
1919 年	G. E. Hale 发现太阳 22 年磁周期
1931~1940 年	S. Chapman 和 V. C. A. Ferraro 提出太阳等离子体抛射导致磁暴的概念
1946~1948 年	R. Tousey et al. T. R. Burnight 发现太阳紫外、X 射线光谱
1958 年	John Paul Wild 等人预见太阳风的存在
1968 年	R. Davis 探测了太阳中微子
1993 年	日震学（日震学是研究太阳的内部结构的科学。）诞生了
1994 年	哈佛大学的张其洲等人发现太阳超长期亮度变化与磁活动水平相关
1995~1997 年	Y. P. Elsworth 等人由日震学给出太阳内部动力学结构
2000~2001 年	华人赵俊伟等发现黑子光球下的动力学结构，这个消息曾轰动美国纽约时报，被称为太阳黑子之谜的揭示者

目前太阳物理学中重要的问题集中在这样几点：首先是太阳中微子亏缺，也就是中微子是否有静止质量的问题；其次是太阳活动和太阳活动周期问题；还有太阳、空间天气以及人类地外的可居住性等。总体来说，太阳活动作为一种大尺度磁场的宏观物理行为，毫无疑问服从牛顿定律和麦克斯韦尔方程，所以人类对于太阳的研究一般都是运用已有的物理知识去进行的。但在诸多方面，例如太阳磁场的起源和高度纤维化结构，却使一切理论解释都变得苍白无力。尽管一百年来人类对于太阳已经有了一定的了解，但是目前仍不清楚牛顿定律和麦克斯韦尔方程是如何控制这些大尺度的行为。

太阳物理涉及的物理学知识比较深，好些地方需要很深的物理功底，作为一本面向大众的书，本书仅从一个侧面介绍给读者太阳里面的神秘。出于这样的考虑，我们在这一个章节中重点展示太阳磁场和日震学研究发展的内容。

太阳磁场强烈地影响着太阳活动，由于太阳的绝大部分物质是高温等离子体，太阳的物态、运动和演变都与磁场密切相关。太阳黑子、耀斑、日珥等活动现象，更是直接受磁场支配，因此，太阳磁场的研究具有重要意义，关于太阳磁场的研究将有助于我们理解太阳的内部结构。

早在 1908 年，美国天文学家海尔等人首次测量到了太阳黑子的磁场。四年后，他们开始测量太阳的普遍磁场，但得到的结果与预测却有较大的误差。1919 年由 G.E.Hale 发现太

阳 22 年磁周期。1953 年，太阳光电磁像仪诞生了，它可以帮助人们观测太阳表面的微弱磁场。在以后的 20 多年，各种不同类型的磁象仪先后研制成功，因而发现了日面局部磁场、太阳整体磁场和磁结点等。在实测工作取得巨大进展的同时，理论研究也蓬勃开展起来。例如，黑子磁场结构、太阳活动周的起源、耀斑爆发机制以及磁场内谱线形成理论等研究都有了重要的进展。在众多发明中，要重点提一下的是日冕磁象仪，它是研究太阳磁场的一个重要手段。我们知道，太阳磁场的分布是复杂的，涉及拓扑学等高深知识，而研究太阳磁场结构与太阳磁周期理论诞生是紧密联系的。太阳磁场的变化，会导致太阳活动剧烈程度的变化，这样太阳的物质抛射、辐射等就直接影响到地球。太阳磁周期对于人类的生活、生产是有很大的影响的。比如，太阳会把表面的物质以很大的动能抛射出去，转变成高能物质形成太阳风，在太阳风剧烈的时候对人类生活就存在比较大的影响。

除太阳活动区外，日面宁静区也有微弱的磁场。整个说来，太阳和地球相似，也有一个普遍磁场。不过由于局部活动区磁场的干扰，太阳普遍磁场只是在两极区域比较显著，而不像地球磁场那样完整。太阳极区的磁场强度只有 1~2 高斯。太阳普遍磁场的强度经常变化，甚至极性会突然转换。这种情况在 1957~1958 年和 1971~1972 年曾 2 次观测到。而如果把太阳当作一颗遥远的恒星，让不成像的太阳光束射进磁像仪，就可测出日面各处混合而成的整体磁场。这种磁场的强度呈现出有规则的变化，极性由正变负，又由负变正。大致说来，在每个太阳自转周期内变化 2 次。这个现象很容

易解释：日面上有东西对峙的极性相反的大片磁区，随着太阳由东向西自转，我们就可以交替地观察到正的和负的整体磁场。总之，太阳上既有普遍磁场，又有整体磁场。前者是南北相反的，后者是东西对峙的。

太阳的磁场来源是一个远未解决的难题。现有学说可分为两类。一类是化石学说，认为现有的磁性是几十亿年前形成太阳的物质遗留下来的。理论计算表明，太阳普遍磁场的自然衰减期长达 100 亿年，因此磁性长期留存是可能的。另一类是发电机学说，认为太阳的磁场是带电物质的运动使微弱的种子磁场得到放大的结果。既然太阳上的物质绝大部分是等离子体，并且经常处于运动状态，那就可以用发电机效应来说明关于太阳磁场起源中的若干问题。这是目前得到天文界普遍承认的学说。在太阳磁场的领域中，还有另一个重要课题就是太阳活动周期的形成机制。虽然还没有一个统一的说法，但目前得到较多认可的是较差自转理论。

随着人类对太阳的了解越来越深入，一门新的科学——日震学在 1993 年诞生了。它是专门致力于研究太阳内部结构的一门科学，也是一个新兴的太阳学研究领域。日震学的一个重要研究对象就是太阳内部的能量转化，这对了解太阳起源，预测太阳今后发展和寿命等都有重要意义。在巨大的太阳内部，蕴藏了 33 500 亿亿方的极高温气体，其重量比 10^{27} 吨的两倍还多。目前这些气体的密度、温度和成分都已被推测出来，这就使天文物理学家可以弄清令这些气体燃烧的核反应过程以及太阳的形成年龄等问题。根据太阳质量及核融

合反应速率，估计太阳的年龄至今已有 49 亿年，如果太阳能保持住每秒钟消耗不超过六亿五千七百万吨氢的话，还可以燃烧至少 500 亿年。但是在目前看来，单是太阳核心灰烬重量所引致太阳内部温度的上升，从而引发其它更复杂的核反应就会使太阳消耗掉比现在更多的能量。如果预测这种消耗在太阳寿命到达 50 亿年时开始加速的话，那么太阳剩余的寿命就大约只有 50 亿年了。这也就是说，在大概 50 亿年后，太阳内部的氢将转变成更重的元素，亮度会增加到现在的一倍，体积也将不断膨胀。更惊人的是，随着它体积和成分改变，太阳对周围的天体可能更具有吸引力，于是距离较近的几大行星，如水星、金星和地球都将进入它的大气，与太阳结合。按照恒星演化的最后阶段所示，太阳在经历一亿年的红巨星阶段后，将耗尽所有能源而坍缩成一颗白矮星，并通过向宇宙空间抛射物质而形成一颗行星状星云。

对于太阳的研究，要走的路还有很长。在人类现有的科技水平之下，世界上还没有一个国家能独自担当起研究的重任，所以最现实也最有效的办法就是各国联合，各自把自己最先进的科技和设备用于太阳探索的合作中。2006 年 9 月美国宇航局为了解太阳磁场中蕴藏的能量以及该能量对地球的影响，就和日本、英国及欧洲其他国家联合实施太阳-B 计划。美国宇航局的主要工作是为太阳光学望远镜提供焦平面封装，为太阳 X 射线望远镜和远紫外成像分光计提供部件，同时为这些仪器提供系统综合工程支持。日本宇宙航空研究开发机构是太阳-B 计划实施、飞行器、运载工具和太空操作的主导单位。参与“太阳-B”探测器设计和制造的单位

有美国航空航天局、洛克希德·马丁公司、美国科罗拉多州高海拔天文台、日本宇航局空间及宇宙科学研究部门、日本国家天文台等。在未来3年中，太阳-B飞行器将在距地球600公里的太阳同步轨道上运行，连续拍摄太阳图像，测量太阳磁场运动及其对太阳大气的影响，对太阳耀斑进行研究，重点研究太阳耀斑的喷发阶段。而深入了解太阳耀斑有助于了解磁场如何释放大量能量。太阳-B提供的信息将帮助人们深入了解和预测太阳对地球造成的影响，如干扰卫星通信、电力电网，以及对远离地球磁场在太空中旅行的宇航员所带来的安全威胁。

以后，这样的国际合作研究会越来越多，太阳学作为一个人类所共同面对的科学领域是需要人们尽力合作去完成的。在一定程度上，它需要科学超越政治上的国籍划分，而实现国际顶尖科技资源的通力合作。相信在人类的齐心合力下，对太阳的研究会进展得更快，人类也会在这种研究中了解更多的太阳的奥秘。