

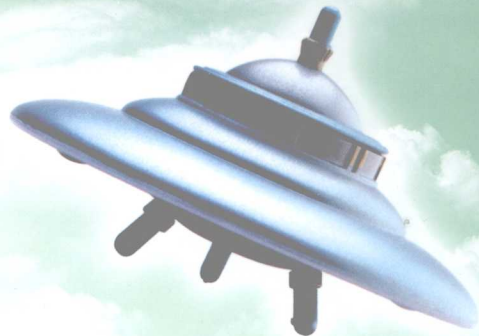
天文、地理、生物、物理、化学……尽在其中

科学家

北京青少年科技俱乐部活动委员会 编著

KEXUEJIANJIANGKEXUE

讲科学



[第3辑]

北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

天文、地理、生物、物理、化学……尽在其中

科学家讲科学

北京青少年科技俱乐部活动委员会 编著



[第3辑]

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

科学家讲科学. 3/北京青少年科技俱乐部活动委员会编著. —北京:
北京理工大学出版社, 2008. 6

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1427 - 8

I. 科… II. 北… III. 科学知识 - 中学 - 课外读物
IV. G634. 73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 015071 号

科学家讲科学 (第 3 辑)

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 880 毫米 × 1230 毫米 1/24

印 张 / 8. 25

字 数 / 170 千字

版 次 / 2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 5000 册

定 价 / 25. 00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 李绍英

“科学家讲科学”丛书

编委会

主任 王绶琯

编委 (以姓名汉语拼音音序为序)

陈运泰 陈佐忠 范春萍 胡亚东 李宝泉

聂玉昕 王谷岩 吴忠良 尹传红 周 琳

前言

王琰琨

小学、初中学生的科学素质培养，关系到“科教兴国”的基础，是目前我国教育和科普工作中的一项重要而艰巨的任务。

两年前在一次科学家茶话会上，几位科学家提出：面对这样的任务，科学界能够做些什么？自己能够做些什么？经过几番讨论，有了一个构想：编写一套适应高小、初中教师和学生的需要、以阐明科学思想和科学方法为主的科普丛书。

目前，高小、初中阶段的科学素质教育，仍是一个需要积累经验、力求完善的课题。为此编写的教材和以介绍博物知识为主的科普读物，一直得到重视并不断有所增益。而以阐明科学思想和科学方法为主的读物，尽管更加贴近素质教育，却相对薄弱。本套丛书的目的就是尝试使这个薄弱的方面得到一些加强。

科学思想和科学方法，有理念的乃至哲学的一面。而实践体验，则必须结合具体的“一事一物”。这使得这方面的科普不同于系统知识和博物性质的科普。但是，科普的内容归根结蒂是出自科学家的工作，而科学家的工作——研究科学，正是针对着“一事一物”运用其科学思想和科学方法的过程。因此，一个科学家，特别是“身经百战”的科学家，对古今科研事例，包括对自身科研经历的体验，梳理一下表达出来，就会是对科学思想和科学





方法很好的普及。

于是我们把编写的方式定为“科学家讲科学”，并以此作为丛书的名称。这种构思得到了北京理工大学出版社的支持。我们陆续组织了不同学科、热心于青少年科普的科学家们草拟结构、分工编写，邀请同行们参加撰稿，并于2004年出版了第一辑作为实验本。现对第一辑进行修订，与其后组织的稿件一同出版，共结成5辑。每辑包括30余篇适于中小学教师使用，并适合于中学生阅读的科普短文。文稿的编撰原则是每篇讲述一项科学知识和过程，并在正文之外加旁注和跋作为导读，着重阐明其中的科学思想和方法，以引发读者思考和探究。

书中文章各自独立，一事一讲，互不牵制。不同学科之间在篇数上保持大致的平衡。文章分两类，一类是新的创作，是主体；另一类是若干科普佳作的直录。两者的正文均保持作者自己的风格，作者以及编者利用旁注和跋以实现导读和提示。

思想和方法都是发展的。我们希望帮助读者领悟，但更重要的是启发读者思考。科学思想和科学方法都是用于科学问题的处理，而处理问题的途径从来都不会是独一无二的，都必须依靠判断和选择。所以我们主张在导读中不但不去回避，而且要尽力表达不同的观点。有了分歧和比较就有了更加宽阔的思考空间，而往往是从思考碰撞出的火花中人们找到了发展的种子。

当前，我国中小学的科学素质教育任重而道远，对教师队伍的科学素养和创造性劳动提出了更高、更迫切的要求。希望这套丛书能够成为奋斗在中小学教育第一线的老师们乐于相携、便于咨询的伙伴。





CONTENTS

录

(第3辑)

创新探索

两弹一星功勋王大珩院士的故事/沈乃澂/ 1

天地奥妙

太阳黑子/汪景琇 张宇宗 姜杰/ 4

月球掠影/欧阳自远 郑永春/ 12

地球热能的“收支平衡”/滕吉文/ 16

漫话冰川/潘云唐/ 23

万家灯火/王谷岩/ 31

信息与生命/王谷岩/ 36

探源究理

哪颗星星更明亮/卞毓麟/ 42

喜马拉雅山是怎样形成的? /张少泉/ 47

善事之器

地球内部是由什么物质组成的? /周蕙兰/ 49

人类是怎样步步登天、遨游太空的? /赵定柏/ 52

发现射电脉冲双星的故事

——阿雷西博 1974 年/吴鑫基/ 58

用物理学研究生命/王谷岩/ 67

前瞻溯望

烽火遍地观日食/李元/ 73

太空城和太空移民/卞毓麟/ 77

板块构造/张少泉/ 87

揭示基因化学本质的三个里程碑/邓希贤/ 94

X “行星” 的搜索/李竞/ 98

我国是如何研制火箭的? /李龙臣/ 106





科学现在时	21 世纪的两朵乌云——暗物质和暗能量/苏宜/ 111 绿色植物与环境保护/张其德/ 119 改造细菌为我所用/孙万儒/ 128 培训“太空尖兵”的科技大比拼/李龙臣/ 132
警示与反思	人与自然和谐发展 ——来自环境演化研究的启示/刘东生/ 137 可持续发展与我们/刘静玲/ 140
体验与启示	追寻温度传感器/张开逊/ 145 呵护生命的发明/张开逊/ 148 漫谈地震/秦馨菱/ 150
小明求知	空气湿度对垒球运动员的成绩有影响吗? /宋心琦/ 154 会自动分拣电子垃圾的流水线/宋心琦/ 158 空气组成之谜/宋心琦/ 161 牛磺酸与功能饮料/尹冬冬/ 165
行万里路	南极洲的动物/胡舜士/ 169
读万卷书	一花一世界,一手一菩提 ——荐《右手,左手:大脑、身体、原子和文化中不对称性的起源》/肖凡/ 176
馆长导游	走进中国航空博物馆/齐贤德 程昭武/ 178 走进中华航天博物馆/翟彬/ 185

注:文中旁注和后跋(“提示”,
“思考”,“讨论”等)标有“*”号
者为编者所加。



两弹一星功勋王大珩院士的故事

沈乃澂

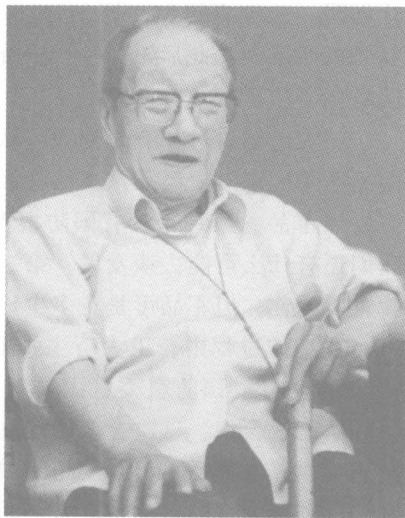
故事要从20世纪50年代末讲起，由于意识形态上的分歧，时任苏联部长会议主席的赫鲁晓夫单方面撕毁了对我国的合作协议，中止了正在我国开展的200多个科技合作项目，撤走了1390名苏联专家，并带走了全部技术资料。这一突然袭击，使我国的多数在建项目陷入一片混乱境地。

已过不惑之年的王大珩，此时受命带队来到了导弹试验基地。现场一片苍凉沉寂，设备闲置，工作全面瘫痪。王大珩和同来的伙伴们只能默默地忍受着难挨的寂寞。

想到临行前领导的嘱咐，王大珩深感自己肩上责任重大。没有豪言壮语，他默默地和大家一起投入了全面诊断光学测试设备的工作。他们起早贪黑，带着午饭，坐上卡车，颠簸在西北的戈壁滩上，到相距很远的每个基地站点去检修每一台光学仪器。

5个月内，他带领大家日夜苦干，像《孙子兵法》上所说的，置之死地而后生，把苏联专家只安装了一半的一大批仪器，全部检修完毕后投入正常使用。在一无图纸、二无资料的困境中，他充分应用自己在国外学到的光学知识，使基地的一大批光学仪器起死回生，不能不令人由衷赞叹。

在离开基地时，正逢中秋佳节，基地司令员请功臣们来赏月。王大珩抬头见一轮明月高悬基地上空，不觉心潮起伏。明月能照亮黑暗中的大地，光学仪器是



沈乃澂：1938年出生于江苏苏州，1962年北京大学毕业，毕业后在中国计量科学研究院从事稳频激光和激光频率标准研究，曾任光频室主任、研究员。近来在中国科学院计量测试高技术联合实验室从事光频标准研究。

图1 王大珩先生

本文内容取材于宋健主编的《“两弹一星”元勋传》上册（清华大学出版社）77~124页，马晓丽写的“王大珩”。





能照亮武器研制工作的明灯,不但对常规武器,而且对原子弹和导弹的研究,也是必不可少的眼睛。王大珩暗下决心,一定要为国防工业研制出过硬和先进的光学设备,使我国的国防科技成果达到先进水平,以提高我国的国际地位。

王大珩的工作得到了著名专家钱学森的赏识,在中央落实两弹研制工作计划时,钱学森提出,原子弹、导弹中的光学设备一定要让王大珩所在的长春光机所来做!此后不久,长春光机所就接受了以“150工程”为主的一系列国防科研项目。

王大珩曾讲过,有人问我,从发展的长远观点来看,我们到底是应该发展军品还是应该发展民品?我回答说,无论从哪个角度来看,我们现在都应该优先发展军品。第一,没有国防根本就无从去谈发展!日本人侵略我们的时候,我们还有什么可能去谈发展?第二,民品是可以买得到的,只要拿出钱来人家就肯卖给你,但军品可是花多少钱也买不来的呀!

在工作过程中,王大珩主张把研制产品和提供产品的任务全面承担下来。1963年4月,国防科委、国防工办和中国科学院联合在北京召开了“150工程”第五次会议,这次会议明确支持了王大珩的观点,决定由长春光机所从研制到提供产品全面负责。在王大珩的严密组织下,“150工程”进展得十分顺利,这项参加人数多达600人、历时五年半之久的大型科研工程竟一次试验成功。1966年4月,“150工程”全面通过国家鉴定,其中的几百个项目都顺利通过。王大珩除全面负责领导研制工作外,还在设计方案上提出了重要意见:

(1) 设计望远镜的十字线结构,使瞄准线不因镜筒形变而改变,提高了瞄准精度;

(2) 水平转轴采用滚轮弹簧支撑及驱动系统,大大增强了水平轴运转的灵活性、平稳性及自控能力;

(3) 提出了关于研制光学设备的总体分析。

在以后的许多年间,光机所在王大珩的率领下,多次承接国防重大科研项目,在国防科技领域取得了令人瞩目的成就。

长春光机所为返回式侦察卫星研制了地物相机和星空相机,让卫星长上了



眼睛。为航行在南太平洋上的“远望号”测量船研制了全套光学观测设备，采取独创的设计方案，克服了船只在海面上因受风浪的影响不断摆动而产生的船体挠曲变形，以及进而导致的各种光学测量系统的误差，为远程弹道导弹落点轨迹以及卫星运行轨道的精确测量做出了重要贡献。

1964年10月16日，中国第一颗原子弹爆炸成功了。王大珩所长和长春光机所几百人的努力终于得到了很好的回报，他们所负责的光学测试项目在原子弹爆炸试验中获得了圆满成功。1985年，鉴于长春光机所在国防领域中的一系列突出贡献，国家授予长春光机所“全国国防军工协作先进单位”的称号。同年10月，长春光机所历年研制的国防科技成果，以“现代国防试验中的动态光学观测及测量技术”为总项目名称，获国家首次颁发的科技进步奖特等奖。王大珩由于他的特殊贡献而获得了个人特等奖。

从王大珩领到1400万斤小米筹办仪器馆起，中国的应用光学就开始在几近空白的基础上一步一步地发展起来了。王大珩创建和领导的长春光机所作为中国应用光学的发源地、摇篮和基地，如今已经发展成为一个各类专业科技人员配套、科研生产条件齐备、技术基础雄厚，并具有光、机、电及计算机应用等多学科综合研究与开发优势的高水平的科研机构。几十年间，王大珩在领导长春光机所发展自身的基础上，又着手分别组建了中科院西安光机所、上海光机所和四川大邑光电技术所（现为成都光电技术所），并倡导和亲手创建了一所专门培养光机人才的理工科大学——长春光学精密机械学院。

经过几十年的努力，我国已经拥有了一个多达15万人的世界上最庞大的光学研究队伍，并拥有了360个光学工厂和72个光学研究所，还有近40所大学设立了光学专业、22所大学设立了光学仪器专业。

在王大珩的努力下，国际光学委员会（ICO）于1987年正式吸收中国为其会员国。由于王大珩杰出的成就和威望，1990年11月，他被选为亚洲太平洋光学联合会（APOF）的副主席。1979—1993年间，他被国际计量委员会（CIPM）推选为代表中国的委员，成为18个委员之一。

王大珩院士无愧于我国首席光学和计量学专家的光荣称号。

*我国解放初期新的货币制度还没有建立时，以小米为计价单位的方法曾一度被广泛应用。一斤小米值旧币700元，1400万斤小米折合旧币98亿元，折合人民币为98万元。



太阳黑子

汪景琇 张宇宗 姜杰

汪景琇：1944年5月生，辽宁省抚顺人。太阳物理学家，中国科学院国家天文台研究员。
Chinese Journal of Astronomy & Astrophysics 杂志主编，《太阳剧烈活动与空间灾害天气》首席科学家。

太阳，是离我们最近的恒星。它普照万物，灿烂辉煌。但是我们可能很少注意到这个耀眼的如同水晶球一样的太阳上，也生长着一颗颗“黑色的雀斑”（图1）。这就是我们常说的太阳黑子（sunspot）。人们是什么时候发现太阳黑子的？太阳黑子的模样有哪些？太阳黑子又是怎样形成的？太阳黑子的活动特点是什么？太阳黑子的活动对人类有什么影响？下面我们就来谈谈这些问题。

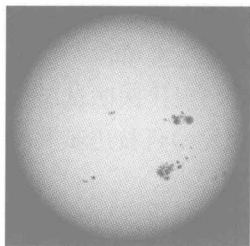


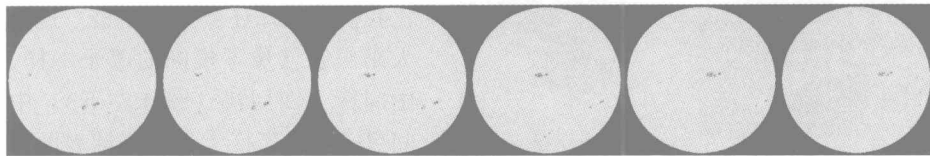
图1 太阳黑子图

太阳黑子的发现

太阳黑子是人们最早发现的一种太阳表面活动。早在殷商甲骨文中就有相关的记载，有人认为甲骨文“日”字中的一点（ $\odot$ ）就是表示太阳黑子。得到世界公认的最早的太阳黑子记录，是《汉书·五行志》中的记载：“汉成帝河平元年三月乙未，日出黄，有黑气大如钱，居日中。”西汉河平元年三月乙未，也就是公元前28年5月10日。这条纪事把太阳黑子出现的时间、位置和大小描写得一清二楚的，这是全世界有文字记载的最早的黑子记录，也印证了中国是最早知道黑子的。中国古代关于太阳黑子的记录有几百条。不过古代人观测太阳黑子全靠肉眼。在日落和日出时，或风沙浓烟弥漫时，阳光要穿过厚厚的大气层或尘埃，光度大大的减弱，是肉眼观测黑子的最好时机。

直到1610年（中国的明朝万历38年），意大利物理学家和天文学家伽利略（Galileo Galilei，1564—1642）将刚发明不久的望远镜指向太阳，观测到了太阳黑子，还发现太阳黑子在日面上自东向西运动，并据此推测太阳有自转

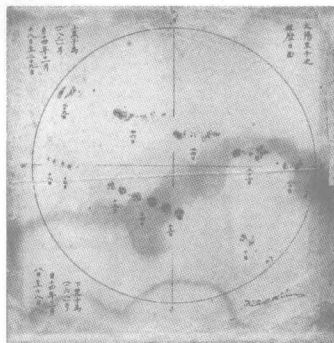
运动。图2是连续6天观测到的太阳黑子的图片（注意天体的图片是左东右西，这一点和我们的地图是不一样的）。



伽利略生于意大利西北部的比萨城，伟大的物理学家、天文学家。

图2 连续6天观测到的太阳黑子图

不过，据说由于伽利略直接从望远镜中看太阳，眼睛受到强光的刺激，导致晚年失明。因此我们一定不能直接用肉眼通过望远镜看太阳，以免永久性地损坏我们的眼睛。目前常规观测黑子的目视方法有：给望远镜装上专门观测太阳用的赫歇尔目镜或利用投影屏把太阳像投影在白纸上。读者们可以通过这种办法，连续地观察太阳并记录黑子的形状和位置，看看黑子是不是也是这样经过日面的。图3是我国天文学前辈高平子（1888—1970）先生记录的1925年11月的两个经过太阳的黑子群。这是近代我国最早的手描黑子的纪录。



在这之前人们观察到太阳黑子都是偶然的发现，看过也就过了。而伽利略是为了探讨太阳现象而发现了黑子，接着就跟踪下去，开始了一个重要天文课题的开拓。

图3 1925年11月经过太阳的黑子群

太阳黑子的观测特征

太阳黑子的中心区域有一块或几块特别暗黑的核心，称为本影（umbra）。围绕在周围的淡黑的区域称为半影（penumbra，图4左上）。在高分辨率的黑子照片上可以看到，本影中有时会出现一些明亮的细沟，称为亮桥（light bridge，图4右下）。从前面的图1至图3中，我们发现黑子倾向于成群出现。因此日面上经常出现许多黑子群。每群中的黑子可以从一两个至几十个。黑子经常成对出现。每群黑子，在太阳自转的过程中，西边的部分总是在前面，成为前导黑子；与其对应，东边的就称为后随黑子。每个黑子的直径可以是几百



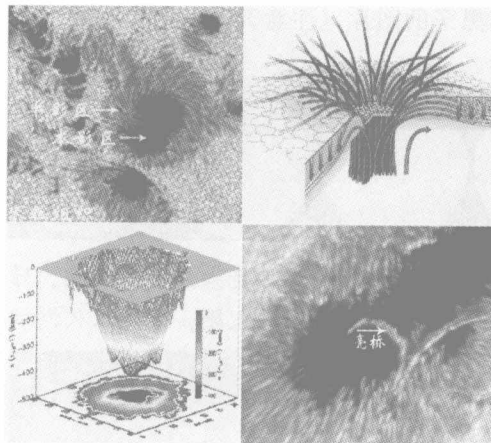
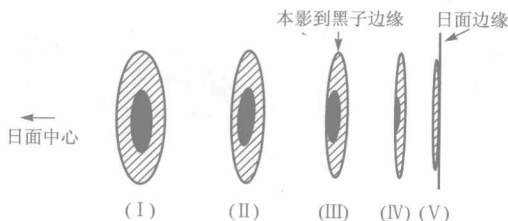


图4 太阳黑子细节图

图5 一个向日面边缘移动的太阳黑子的外观变化(威尔逊效应)

1 高斯= 10^{-4} 特斯拉, 作为对比, 地球赤道处的磁场大约只有 0.3 高斯。



甚至上万千米。想一想, 我们地球的半径才 6 370 千米, 所以大黑子比我们的地球还要大几十倍。这个太阳黑子就像不规则的碟子一样, 中间深, 四周浅(图 4 左下)。中间黑子的本影区大概在光球表面以下 400~600 千米处。当太阳黑子处在日面中心, 那么半影区在各个方向上的宽度都是基本相同的。但是当黑子在日面的东边缘刚刚出现, 或在西边缘将要消失时, 离日面边缘较远的一边的半影宽度就会比靠近边缘一边的半影宽度缩减得更多些, 这就是威尔逊效应(图 5)。

每个黑子都有很强的磁场, 其强度大约在 1 000~4 000 高斯之间。一般说, 黑子越大, 磁场也越强。

黑子本质上是太阳表面上的强磁场区。这样强的磁场包围的面积比地球的面积还要大。其中, 磁场最强的部分是黑子的中心部分, 即本影区。这里的磁场几乎是垂直于黑子的。到了半影区, 磁场减弱, 方向也变得接近水平。半影区里的那些细丝沿着近乎水平的半影区的磁场排列。图 4 右上角绘出了半影区的磁通量管(磁通量管即磁力线束)。

太阳黑子的分类

对太阳黑子的分类方法很多, 但现在普遍采用的是瑞士苏黎世天文台分

类法 (图 6)。下面我们先简单介绍一下这种分类方法。

A 型 无半影的单个小黑子, 或几个密集的单极群黑子。

B 型 无半影的双极小黑子。可分前导和后随两部分, 或前导与后随连结在一起。

C 型 类似 B 型的双极群, 但在前导或后随中, 至少有一个主要黑子具半影。

D 型 类似 B 型的极群, 前导和后随各有一个主要黑子具有半影。整个群体在东西方向的延伸小于 10 度。

E 型 D 型在东西方向的延伸大于 10 度, 且结构复杂。

F 型 E 型在东西方向的延伸大于 15 度, 结构很复杂。

G 型 只剩下前导和后随的几个大黑子, E 型、F 型退化了, 中间没有小黑子。

H 型 有半影的单极黑子, 直径大于 2.5 度, 其周围会有卫星小黑子。有时也会呈现复杂结构。

J 型 有半影的单极黑子, 直径小于 2.5 度, 结构简单。

这个顺序, 粗略地讲, 是按照黑子的演变先后排列的, 最强时是 E、F 型, 演变到最后是 J 型。

另外还有麦金托什分类法和磁分类法。

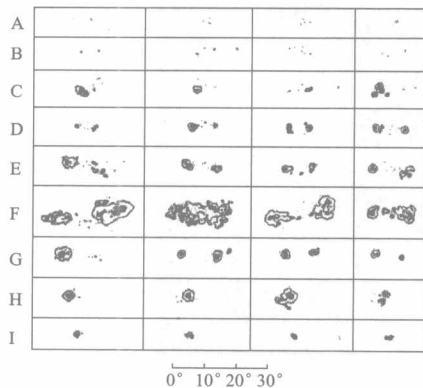


图 6 黑子苏黎世分类示意图

太阳黑子的形成

太阳黑子真的黑吗? 其实太阳黑子之所以显得黑, 是因为他们的温度 (约 4 500 开尔文) 比所处的光球层周围太阳大气的温度 (约 6 000 开尔文) 低得多, 这也就意味着黑子发出的光的强度要比周围太阳大气发出的光的强度低得多。而人的眼睛只能分辨出光的相对强弱, 所以尽管黑子比工地切割和焊接金

* 光球层: 太阳大气最低的一个圈层, 即一般用白光所观测到的太阳表面厚度约 500 千米左右。我们接收到的太阳能基本上是光球层发出的光球基本是明亮的, 但亮度不均匀, 有活动的亮斑和暗区。



塞曼效应是物理学上一个重要发现。它告诉我们磁场会导致原子光谱线的分裂。这个发现立即成为探测磁场的有力工具,为太阳黑子研究带来了观测手段上一次划时代的飞跃。

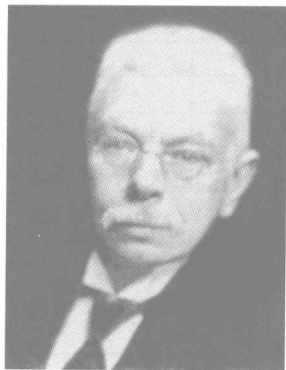


图7 塞曼像

属的焊枪喷出的氧炔焰(3 000 开尔文以上)还要炽热,在我们的眼中黑子还是“黑色”的。

那么,是什么原因使得黑子的温度比较低呢?这就是我们前面提到的黑子里的强磁场。人们并不是一开始就知道黑子处存在强磁场。发现太阳黑子有强磁场是天文学中有重大历史意义的一件事。1896年,塞曼(Pieter Zeeman, 1865—1943)(图7)设计了一套实验装置,直接观测到了钠火焰的光谱在强磁场的作用下发生了分裂。光谱线在磁场中发生分裂的效应,也以他的名字命名为塞曼效应。塞曼因发现塞曼效应而获得了1902年的诺贝尔物理学奖。1908年,美国

天文学家海尔(Hale, 1868—1938)利用塞曼效应所造成的太阳钙元素之光谱线分裂,证明了黑子中存在非常强的磁场。这是当时把物理学最新的理论和方法用于天体现象和过程的诊断和解释。因而黑子中有强磁场的物理学诊断,不但是现代太阳物理学的一个突破,也标志着现代天体物理学的新的进展。

如此强的太阳黑子磁场就像是一个滤网或阀门,阻止了太阳的对流和来自太阳内部的能量和热量的传输,从而使太阳黑子处的温度比周围大气的温度低几千度,像有一个冰箱在冷却太阳黑子。由于太阳黑子的存在,也会使太阳的总辐射量减少,但幅度并不大,只有千分之一左右。也有人认为强磁场的存在使磁声波得以产生和传播,耗散了太阳黑子的能量,降低了太阳黑子的温度。

讲到这里,大家又会问,黑子的磁场是怎样形成的呢?现在的主流观点认为这是由于太阳内部存在着对流,以及在不同纬度上自转角速度不同(称为较差自转)的缘故。我们假设太阳和地球一样,也存在双极本底磁场,如图8,有一根在对流层里由北向南的径向磁力线。由于较差自转,赤道附近自转较快,靠近极区转得较慢。于是这根磁力线就会被拉伸并环绕太阳,并且有了纬向分量。经过多次缠绕之后,我们可以看到,磁力线的密度越来越大,因而纬向分量越来越强。



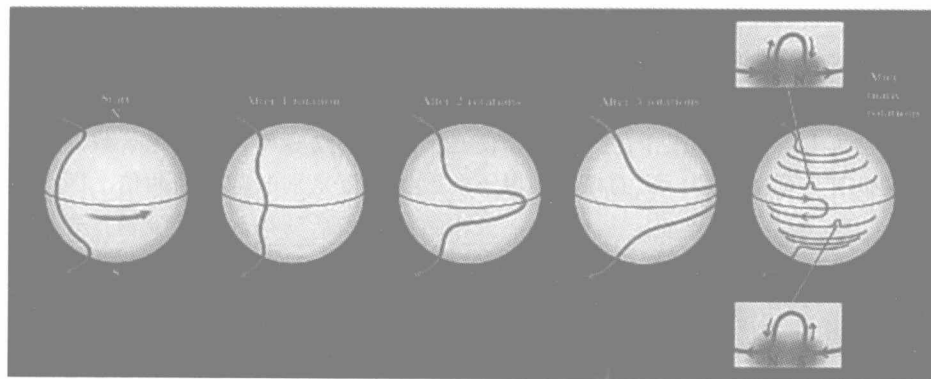


图8 太阳本底磁场的磁力线由于太阳的“较差自转”形成太阳黑子的过程示意图

同极性的磁力线之间有斥力，斥力随磁场的增强而增强。该斥力会对太阳内部的物质产生一种膨胀的压力——磁压力。在太阳内部对流层里，各处气体压力一般不均匀，若某处的磁压力超过气体压力，这里的物质就会像水泡一样浮到太阳表面，在磁力线穿过对流层的顶部进入光球的地方就形成了黑子。在磁力线集中穿过的部位形成的黑子极性分别为 N 极和 S 极。赤道两侧的磁力线走向正好相反，所以南半球和北半球形成的黑子对的极性也相反。

太阳内部物质实际上就是物质的第四态——等离子体态。

太阳黑子活动周期

太阳上的黑子数量的多少标志着“太阳活动”的强弱。1848 年，一位瑞士的科学家沃尔夫 (Johann Rudolph Wolf, 1816—1896) 引入了“黑子相对数”来表示日面可见半球黑子数的多少。黑子相对数 R ，定义 $R = K(10 + f)$ ，其中 g 和 f 分别表示当天观测到的日面上出现的黑子群和黑子数目。经过沃尔夫的收集和整理，基本上不间断的每日黑子相对数的记录可以前推到 1818 年，而黑子相对数的月平均值可以前推至 1749 年，年平均值可以前推至 1610 年。

从长期的黑子相对数记录可见，每天黑子相对数的年平均值明显表现出 11 年左右的周期。从 1700 年以来的观测数据求得的平均周期为 11.1 年。这也

