

KE XUE CONG SHU

中国科学院新世纪〈科学丛书〉 主编 何远光



话说太阳

★ 太阳的基本构造
★ 太阳的自传
★ 太阳的一生
★ 太阳对地球的影响



林元章 著

1

— 内蒙古大学出版社 —

责任编辑: 呼 和
封面设计: 徐敬东

图书在版编目(CIP)数据

话说太阳 / 林元章著. - 呼和浩特:

内蒙古大学出版社, 2000.5

(新世纪〈科学丛书〉 / 何远光主编)

ISBN 7-81074-022-9

I. 话… II. 林… III. 太阳 - 普及读物

IV. P182-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 25080 号

顾 问

王大珩	院士
王佛松	院士
张广学	院士
王绶琯	院士
郭慕孙	院士
严陆光	院士

编 委

关定华	研究员
胡亚东	研究员
陈树楷	教 授
周家斌	研究员
刘 金	高级工程师
何远光	高级工程师
史耀远	研究员

话说太阳

林元章 著

内蒙古大学出版社出版发行

内蒙古瑞德教育印务股份

有限公司呼市分公司印刷

内蒙古新华书店经销

开本: 850 × 1168/32 印张: 0.5 字数: 12 千

2000 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

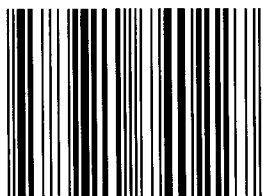
印数: 1-11000 册

ISBN 7-81074-022-9/N · 1

本书编号: 1 - 09

全套 50 册 定价: 50.00 元 (分册 1 元)

ISBN 7-81074-022-9



9 787810 740227 >



林元章, 1956年毕业于南京大学天文系。中国科学院北京天文台研究员,《天体物理学报》副主编。曾任职于中国科学院南京紫金山天文台和北京天文台; 1985~1986年为加拿大科学院赫兹堡天体物理研究所客座教授; 中国天文学会理事和“太阳物理和日地关系”专业委员会主任。国际天文学会会员。享受政府特殊津贴。

研究方向为太阳物理学。发表论文 90 多篇, 编著有《太阳耀斑》, 译著有《宁静太阳》, 专著《太阳物理导论》。

目 录

崇尚科学(序)	(1)
为什么要研究太阳	(2)
太阳的基本构造	(3)
太阳的自转	(6)
太阳的辐射	(7)
太阳的一生	(8)
太阳活动现象	(10)
太阳对地球的影响	(13)
太阳活动预报	(16)

崇尚科学

——寄语青少年

江总书记在党的十五大报告中号召我们“努力提高科技水平,普及科技知识,引导人们树立科学精神,掌握科学方法”。面向 21 世纪,我们要实现科教兴国的战略目标,就是要大力普及科技知识,提高国人的科学文化素质。特别是对广大的青少年,他们正处于宇宙观、世界观、人生观、价值观的形成时期,对他们进行学科学、爱科学、尊重科学的教育,进而树立一种科学的思想和科学精神,学习科学方法对他们的一生将产生重大的影响,同时也是教育和科学工作者的重要任务之一。

由中国科学院和内蒙古大学出版社共同编纂出版的“科学丛书”就是基于上述思想而开发的一项旨在提高青少年科学文化素质,促进素质教育的科普工程。该“丛书”具有以下三大特色。

买得起:丛书每辑 50 册,每册一元。

读得懂:每册以小专题的形式,用浅显的表达方式,通俗易懂的语言,讲述各种创造发明成果的历程,剖析自然现象,揭示自然科学的奥秘,探索科技发展的未来。

读得完:每册字数万余字,配以相应的插图,一般不难读完。

我们的目的就是要通过科普知识的宣传,使广大青少年在获得科技知识、拓展知识面、提高综合素质的同时,能够逐步树立起科学的思想和科学的精神,掌握科学方法,成为迎接新世纪的优秀人才。

最后,真诚地祝愿你们——

读科学丛书,创优秀成绩,树科学精神,做创新人才。

中国科学院 卢佩群

在 地球大气以外的所有天体中,与人类关系最密切的就是太阳。正是太阳的光和热维持着人类生存和地球上一切生命活动所必需的适当环境。地球的主要能源,如石油、煤炭、风力、水力等,归根结底都是来自太阳能。昼夜交替、四季变化、风云雨雪、植物生长……等自然现象,无一不是太阳作用的结果。由于太阳与人类的生活和生产活动有如此密切的关系,人们自然会产生了解太阳本质的强烈愿望。他们除了想知道太阳有多大和距离有多远等简单问题外,还想知道它到底是由什么物质组成的?它的内部构造如何?表面怎样?它的温度有多高?它的能量是如何产生的?它到底每分钟发出多少能量?它以这样的规模发出能量到底还能维持多长时间?……等等。

为什么要研究太阳

为了探讨上述一系列涉及太阳的物理构造,内部和表面发生的物理过程,以及太阳整体演化等问题,在天文学中形成了一个重要的分支科学,称为太阳物理学。太阳物理研究者通过精心设计的各种仪器,对太阳进行了长期观测,并用物理学方法对观测结果进行综合分析和理论推断之后,对上述这些基本问题可以说都能给予答复。然而,对于许多重要问题至今还不清楚,或知之甚少,有待于进一步的探索。研究太阳的意义,至少可概括为如下几点。

第一,人们不管是出于好奇或是想利用,总是想了解自己周围的环境,小到自己的邻居、街道、城市、国家,大到整个地球、太阳系、银河系、其他星系和整个宇宙。在这种阶梯状宇宙结构中,太阳有着举足轻重的地位。对于不发光行星的情况,还可以想像其大致与地球有某些类似。那么众多发光的恒星呢?实在是难以想像。现在已经知道,在宇宙间形形色色的恒星世界中,大多数恒星实际上属于同一种类型——所谓主序星,它们的结构和演化有一定的规律。太阳是一颗典型的主序星,而且是一颗离我们最近的恒星。因此,对太阳进行观测和研究,将使我们对于宇宙间的其他恒星能有大致的了解。实际上,天文学家对其他恒星结构和演化的研究,在很大程度上是以太阳作为范例进行探讨和检验的。

第二,太阳上有着非常特殊的物理条件,其主要特征包括高温、稀薄、高电离度、大尺度和强磁场(10^3 高斯)。这些条件同时并存,是地面实验室难以模拟的。研究在这些特殊条件下发生的物理过程,能促进物理学某些领域的发展。有人认为,正是由于对太阳能源的探讨,启发了人类对原子能的认识和发现。

第三,地球高空的大气结构和日地之间的空间环境在很大程度上是由太阳的电磁波辐射和粒子发射决定的。同时,太阳活动产生的 X 光和紫外光增强,以及各种能量的粒子流,则对高空大气结构和日地空间环境造成骚扰和污染,从而引起一系列重要的地球物理效应。如,地球附近空间的高能粒子污染、电离层突然骚扰和电离层暴、磁暴,甚至引起地球自转变化,最终影响到航天、通讯、电力、导航、航测、物探以及气象和水文等诸多领域。因此掌握太阳活动规律并进行预报具有应用价值。

太阳的基本构造

从太阳光谱研究推算太阳表面温度约为 6000 度,而结合理论推算的太阳中心温度高达 15×10^6 度。在这样的高温条件下,所有的太阳物质都气化了。因此,太阳实质上是一炽热的高温气体球。它的半径 $R = 6.96 \times 10^5$ 公里。这比地球与月亮的距离要大得多。换句话说,若把地球放在太阳的中心,那么,月亮运行的轨道(其半径约为 38 万公里)还在太阳内部。地球绕太阳的轨道为椭圆形,因此日地距离是变化的。平均距离 $A = 1.496 \times 10^8$ 公里。太阳的质量为 $M = 1.989 \times 10^{30}$ 公斤。因此可以算得太阳的平均密度为 1.41 克/厘米³,可见它比水的密度还要大。太阳中心的密度高达 160 克/厘米³,但表面密度仅为 8×10^{-8} 克/厘米³,相当于地球高空约 80 公里处的空气密度。组成太阳的基本物质是氢和氦。按质量计,氢占 71%,氦占 27%,其他元素合计仅占 2%,主要为碳、氮、氧和各种金属。

通过各种观测和研究已经确定,整个太阳大致上可以分为几个物理性质很不相同的层次(它们的化学组成无多大差别)。若把太阳切开,

其构造如图 1 所示。

日核 从太阳中心至大约 0.25 太阳半径的区域称为日核,它是太阳的产能区。在日核中日以继夜地进行着 4 个氢原子聚变成一个氦原子的热核反应,这与氢弹爆炸释放能量的过程相似。在反应中损失的质量变成了能量,主要是波长极短的 γ 射线,以及少量中微子。

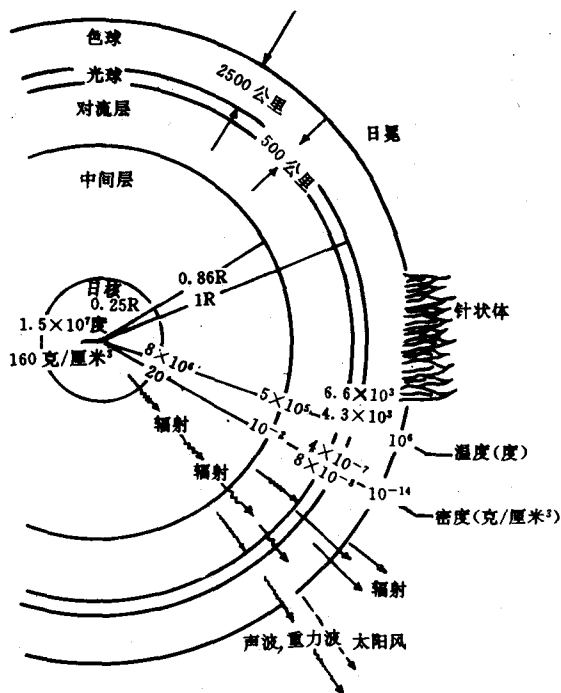


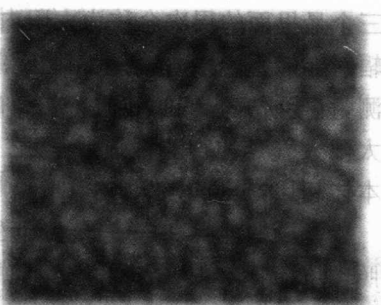
图 1 太阳球体的分层结构

中间层 自 0.25~0.86 太阳半径的区域,称中间层。来自日核的 γ 射线光子通过这一层时不断与物质相互作用,就是物质吸收来自下面波长较短的光子后再向上面发射出波长较长的光子。虽然光子的波长不断变长,但总的能量没有损失地向外传播。区域温度则由底部的 8×10^6 度下降到顶部的 5×10^5 度。

对流层 从 0.86 太阳半径处至太阳表面附近是太阳的对流层。该层中存在热气团上升和冷气团下降的对流运动,就像烧开水壶。用太阳照相机拍摄的高质量的太阳照片上可以看到太阳表面呈玉米粒状结构,称为米粒组织(见图 2),实际上就是上升热气团冲击太阳表面形成的。若在烧开水壶中加些铝粉,拍摄下来的水面图像也是这种样子。

太阳对流层的存在是由于在这一层中氢原子电离和复合造成的。

光球 就是我们用肉眼看到的太阳圆盘,它实际上是一个非常薄的发光球层,其厚度不过 500 公里。我们接收到的太阳辐射几乎全部是由这一薄层发射的。用太阳照相机拍到的太阳照片就是光球的形象。我们通常所说的太阳表面就是指光球表面,太阳半径也是用光球定义的。



色球 它在光球之上,厚度约 2000~10000 公里。从 2000 公里往上实际上是由一种细长的炽热物质(称为针状体)构成的,因此色球层很像燃烧的草原。色球的亮度只有光球的万分之一,比白天的天空亮度还要暗,因此平时是看不见色球的,必须用专门的仪器(所谓色球望远镜)或在日全食时,才能看到红色的色球层。色球的密度从底部的 10^{-7} 克/厘米³ 量级迅速下降到 10^{-14} 克/厘米³ 量级,但其温度却从底部的几千度迅速增加到近 1×10^6 度。

日冕 色球层之上,即太阳的最外层,称为日冕。日冕的亮度比色球更暗,平时也看不见,必须用特殊仪器(称为日冕仪)或者在日全食时才能看见。日全食时看到的日冕呈银白色。

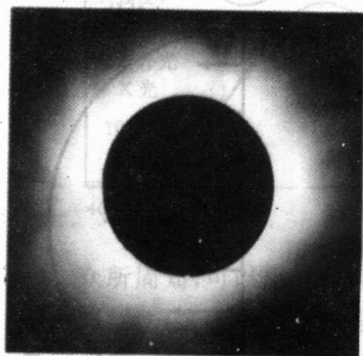


图 3 日全食时看到的日冕

从最好的日冕照片上能够看到它可以延伸到大约 4~5 个太阳半径的距离。但是实际上它可以延伸到超过日地距离,而且在距离日心 5~6 个太阳半径以外的日冕物质是以很高的速度向外膨胀,形成所谓太阳风。换句话说,太阳风就是动态日冕。日冕的温度高达百万度,但其密度却小于 10^{-14} 克/厘米³,并且随日心距离增大而迅速下降。

日核、中间层和对流层的辐射不能到达地面,因此,即使利用仪器也是看不见它们。关于它们的状态,是从理论上推测的。不过,这种推

测是以它们上层(光球)的观测结果为基础的,因而是可信的。太阳的这三个最里面的层次合称为太阳内部,或太阳本体。光球、色球和日冕的辐射能够到达地面,可以用肉眼或者特殊仪器观测到,并且可以通过观测,直接研究它们的性质。这三个看得见的外层合称为太阳大气。尽管太阳大气延伸得非常遥远,但它们的总质量只有 6×10^{20} 公斤,与太阳本体相比,是可以忽略的。

太阳的能源在中心区,它产生的辐射能由里向外传播,太阳的温度照理应随日心距增大而减少。然而太阳外层大气(色球和日冕)的温度反而比下层大气(光球)高得多。这种反常升温的原因曾长期不明。经过众多学者的研究,现在认为是其下面的对流层中产生的各种波(如声波和重力波等)向上传播到高层大气,并在那里耗散,引起高层大气反常加热造成的。这与微波炉加热食物的原理相似。尽管这些波的能量与来自下层的辐射能相比是很少的,但是由于高层大气密度极低,因此这种附加能量的加热非常有效。

太阳的自转

17 世纪初伽利略发明望远镜后不久,人们用望远镜观测太阳时,就发现日面上的太阳黑子每天向西移动一定的距离,这表明太阳是在自转。后来的精确观测发现,太阳的自转方式十分特殊,就是它并不像固体那样转动,而是日面不同纬度处以不同速度转动,称为较差自转(见图 4)。在赤道区,大约 26 天转一周,在两极区,大约为 37 天,它们称为恒星周期。不过,由于太阳自转的过程中,地球也在自己的轨道上与太阳自转相同的方向运行,因此从

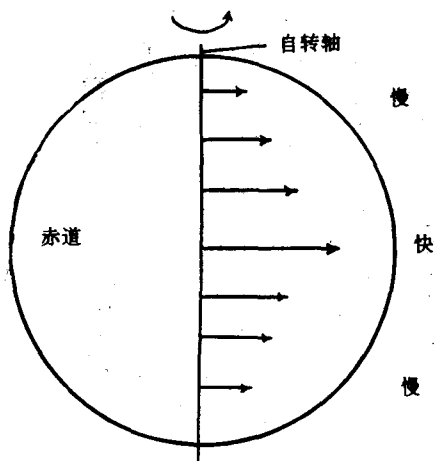


图 4 太阳的较差自转

地球上看到太阳赤道上的一个黑子随太阳自转一周不是 26 天,而是 27 天,而在两极区附近需要 41 天,它们称为会合周期。

太阳为什么会存在较差自转,目前尚无很满意和公认的理论解释。太阳内部的自转情况,也正在探索当中。

太阳的辐射

光芒四射的太阳每秒钟到底发射出多少能量,这是可以测量的。例如,在地球大气外的宇宙飞船上,可以测量垂直于太阳光束的一平方厘米面积上每分钟接收到的太阳总辐射能量。当宇宙飞船与太阳的距离为日地平均距离 $A=1.496 \times 10^8$ 公里时,这个辐射能量为 1.96 卡/厘米²·分,称为太阳常数。这个数字乘以 A 为半径的球面积,再除以 60 秒,就得到太阳每秒钟发射的总能量 3.845×10^{33} 尔格。如何来想像这个能量有多大呢?据估计它可以使地球表面厚度为 1000 公里的冰层在一小时内全部溶化!但实际上我们的地球在太阳向四面八方倾泻的能量洪流中,仅仅截取了其中的约 22 亿分之一,因此就不会有灾难性的后果。

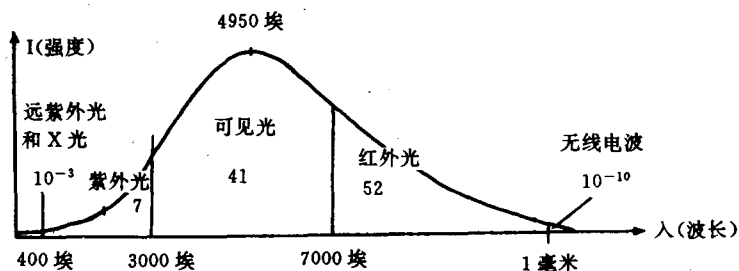


图 5 太阳辐射能谱分布曲线

众所周知,可以用三棱镜把太阳光分解成红、橙、黄、绿、青、兰、紫等不同颜色,这表明太阳光是由不同波长的光合成的(称为白光)。实际上它包括了从波长最短的 γ 射线、X 光、紫外光、可见光、红外光,直到毫米波、厘米波、分米波和米波等无线电波段,即整个电磁波谱。不同波长的太阳光,强度也不一样。用太阳光谱仪器可以对太阳光进行精确的

定量研究,其结果如图 5 所示。由图可见,太阳光中 93% 的能量集中在可见光和红外光波段,其极大强度出现在可见光的 4950 埃处,即黄绿光区。紫外光所占的能量比重约为 7%,而太阳无线电波段以及远紫外、X 光波段所占的能量比重是微不足道的。

太阳的一生

太阳是如何形成的?它已经存在多长时间了?它还将有多长的寿命?为了回答这些问题,就得从太阳的能源谈起。上面已经说过,太阳辐射的能量是由日核中进行着的 4 个氢原子核聚变成一个氦原子核的热核反应产生的。因此,日核就像一座不断燃烧着的巨型原子炉。太阳为了维持巨大的能量发射,每秒钟必须烧掉 5×10^9 公斤的氢。由于太阳的总质量是 1.989×10^{30} 公斤,所以这样的消耗从短期来看是微不足道的。但是,从长期来说,氢原子总有一天是要耗尽的,到了那时,太阳的面貌必然会发生很大变化。因此可以设想,太阳的演化途径主要取决于它的能源变化。太阳是一颗典型的主序星。关于主序星的产生及其演化过程,天文学家已做了大量的研究,并且已经得到比较一致的看法。根据这些研究结果,太阳的一生大体上可以分为 5 个阶段。

主序星前阶段 包括太阳在内的所有主序星都是由密度稀而体积巨大的原始星云演变而成的。当原始星云的质量足够大时,在自身的引力作用下,星云中的气体物质将会向星云的质量中心下落,其宏观表现就是星云收缩。这个过程的实质就是物质的位能变成动能。其结果是星云中心区的密度和温度逐渐增大,并且最终使其达到氢原子聚变所需的密度和温度,于是发生了氢变成氦的核反应,也就是原子炉开始点燃。核反应所释放的辐射压力使星云不再收缩,形成了一颗恒星。这个阶段所经历的时间大约只需要 3000 万年。

主序星阶段 以氢燃烧为能源,标志着太阳已进入主序星阶段。由于太阳的氢含量很大,能源非常稳定,从而使太阳的状态也非常稳定。因此可以说,这个阶段是太阳的青壮年时期。目前的太阳已经在这个阶段经历了 46 亿年,这就是太阳的年龄(主序星前阶段只有短短的 3000

万年,可以忽略不计)。根据理论推算,太阳还将在这个阶段稳定地“生活”34 亿年。

红巨星阶段 日核中的氢耗尽之后,包围日核的气体壳层里面的氢将开始燃烧,于是壳层上面的气体温度上升,结果使太阳大规模膨胀。辐射的波长移向红区,太阳变成了一颗非常巨大的暗红恒星,这大约需要经历 4 亿年,然后进入下一演化阶段。

氦燃烧阶段 当太阳核心的氢耗尽并且变成原子量较大的氦之后,中心部分又开始收缩,温度和密度又继续增加。当温度达到 10^8 度时,氦燃烧开始。与此同时,外面氢燃烧层的半径继续扩大,但燃烧层的厚度却不断减小。当中心氦和壳层氢耗尽,接着便是氦壳层燃烧。太阳上的氦燃料耗尽之后,还可能经历几个更重元素的燃烧阶段。不过,由于其他元素很少,这些阶段都非常短暂。整个氦燃烧阶段的时间也只有 5000 万年,其他元素的燃烧时间更短得多。

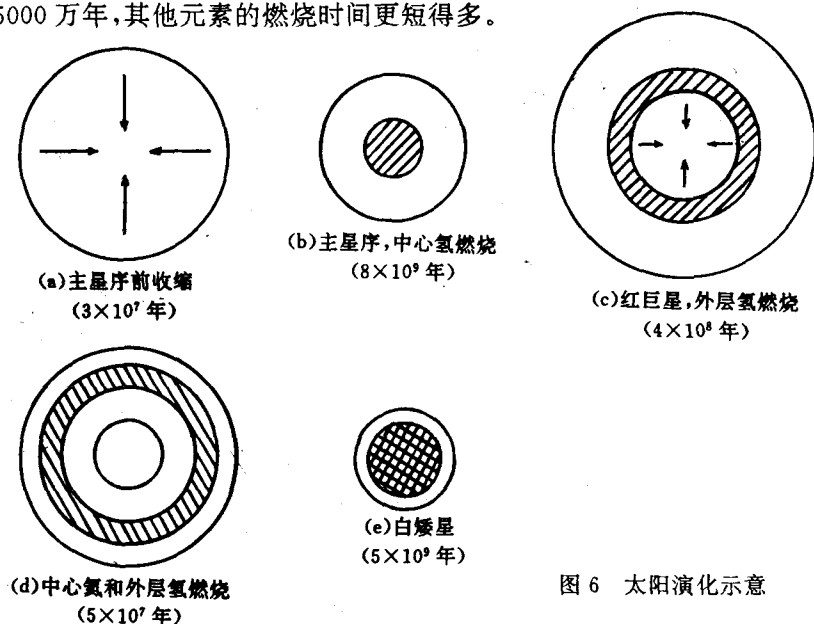


图 6 太阳演化示意

白矮星阶段 当太阳的主要燃料氢和氦耗尽之后(变成更重的原子核),体积进一步缩小,它的半径可缩小到只有目前太阳半径的百分

之一,密度大约是现在的 100 万倍。这时太阳的光度只有目前太阳光度的百分之一至千分之一。太阳在白矮星阶段大约经历 50 亿年之后,它的剩余热量也已扩散干净,终于变成一颗不发光的恒星——黑矮星。

读者看了上面的叙述之后必定要问:太阳变冷或者不再发光之后,人类的前途如何?笔者认为这个问题可以这样回答:到了那时,人类或许有多种可能的选择。其一是,那时的科学技术可能已进步到完全可以用其他人工能源来取代太阳;另一种可能,即航天技术或许发展到可以实现人类迁移到其他适合生存的星球。这些现在听起来似乎只是幻想。但是,只要想想人类文明的历史不过几千年,就已达到可以开发原子能,制造具有奇特功能的电子计算机,发射人造卫星、宇宙飞船和航天飞机,实现了在月球着陆等这些原始人类难以想像的成就。目前已在制定在火星着陆的具体计划,期望把水变成能源的受控核反应的研究也已取得长足的进步。从现在开始到太阳进入红巨星阶段还有 34 亿年的充裕时间,谁能说上述“幻想”不能实现呢?

太阳活动现象

肉眼看到的太阳似乎是完美无缺和洁净无瑕的,但实际情况并非如此。借助各种专门的太阳望远镜进行观察,可以发现在太阳表面常常会出现一些特殊现象,或者说“事件”,即所谓太阳活动。

例如,太阳表面常出现黑子,特别大的黑子在黄昏或者有雾的时候用肉眼都能看见。如果用太阳照相机进行拍照,就能发现更小和更多的太阳黑子(见图 7)。黑子往往成群出现,而且较大的黑子往往由中部较黑的区域(称为本影)和外围不太黑的区域(称为半影)构成。黑子本影的温度只有 4200 度,半影约 5500 度,而无黑子的

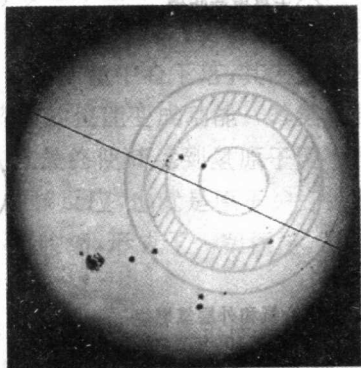


图 7 太阳照相机拍摄的光球照片
斜直线是人为的方向标志

光球区域为 6000 度。黑子的本质是太阳大气中的强磁场区。每个黑子都有磁场,有些黑子为正极;另一些黑子则为负极性。而且黑子的磁场强弱大致与黑子的面积成正比,一般在 1000~4000 高斯之间。在光球层中,除了存在太阳黑子之外,还可看到在黑子周围和太阳边缘附近有一些比背景稍亮的云朵状的区域,称为光斑。这是另一种太阳活动现象。光斑的温度比周围背景约高 200 度,因此显得较亮。

如果用色球望远镜观察太阳,就能看到太阳的色球层。太阳色球层也是不均匀的(图 8),其中有一些比较明亮的区域,称为谱斑,它们一般位于太阳黑子的上空。照片上还有一些暗黑的条状物,那是突出于太阳表面上空的火焰(称为日珥,见图 9)在日面上的投影,称为暗条。当这些暗条随太阳自转而到达太阳边缘时,就会看到它们变成火焰状的日珥。图 8 中左上

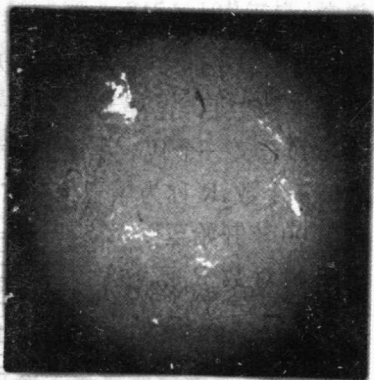


图 8 太阳色球照片

方的一大片最亮的区域,就是太阳耀斑,即太阳爆发。耀斑最先出现在谱斑区中,先是亮度和面积突然增大,然后缓慢恢复到原先的谱斑亮度,整个过程一般为几十分钟。耀斑是最剧烈的太阳活动现象,它的实

质是太阳大气中发生的能量突然释放现象。在耀斑过程中,由耀斑区发射出大量的高能和低能粒子(质子、电子和各种原子核),以及强大的 X 光和紫外光,它们将对地球产生重大影响。

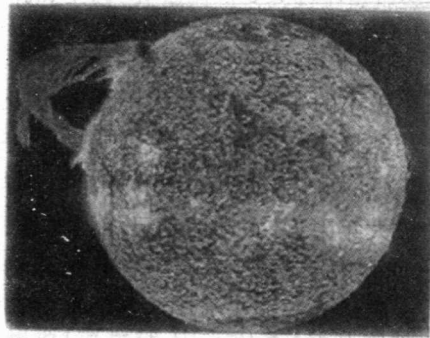


图 9 突出于太阳边缘的特大日珥

从空间飞行器上用太阳 X 光望远镜拍摄的太阳照片上,还可以看到在黑子上空的日冕中常会出现一些特别亮的小区域,称为凝聚区。有时还会看到一大团日冕物质突然抛出的现象,称为日冕物质抛射。这也是会影响地球的很剧烈的

太阳活动现象。

上面谈到的各种太阳活动现象,往往集中在黑子附近的局部区域里。光球层某处若有黑子和光斑,它们上空的色球中就会有谱斑和日珥(暗条),更高层的日冕中常有凝聚区,而绝大多数耀斑也是发生在黑子附近。这种太阳活动现象集中的局部区,就称为太阳活动区,或活动中心。太阳活动区最明显的标志就是太阳黑子。太阳黑子多的时候,其他活动现象也增多,黑子少的时候,其他活动现象也减少。因此,可以用每天日面上黑子的多寡来代表当天太阳活动的强弱。黑子多寡既要考虑黑子群的数目,也要考虑黑子的个数。因此,瑞士天文学家吴尔夫(Wolf)定义一个代表黑子多寡的数 $R=10g+f$,其中 g 为黑子群数, f 为黑子个数, R 称为黑子相对数,也称吴尔夫数。黑子相对数每天不同。

自 1700 年开始至今,黑子相对数 R 已有 300 年的连续记录。

根据这些记录,人们发现 R 的年平均值 $\bar{R}$ 的变化是周期性的(见图 10),其平均周期大约是 11 年。图 10 中 $\bar{R}$ 极大的年份意味着各种太阳活动

频繁而强烈,称为太阳活动极大年; $\bar{R}$ 极小的年份意味着太阳活动很少和很弱,称为太阳活动极小年。两个相邻极小年之间的时段称为一个太阳活动周,并且规定 1755 年(极小年)为太阳活动第一周的开始,目前正处在从 1996 年开始的第 23 周的极大年附近,太阳活动已相当强烈。

宏观上稳定的太阳为什么会出现太阳活动现象,这一直是太阳物理学家的热门研究课题。目前认为,太阳活动起源于太阳的原有弱磁场(许多天体,包括行星和恒星都有磁场)与太阳较差自转相互作用的结果。理论研究表明,太阳较差自转可以把太阳内部微弱的原始磁场拉伸放大,形成管状的强磁场,称为磁流管。这些磁流管因具有磁浮力而上

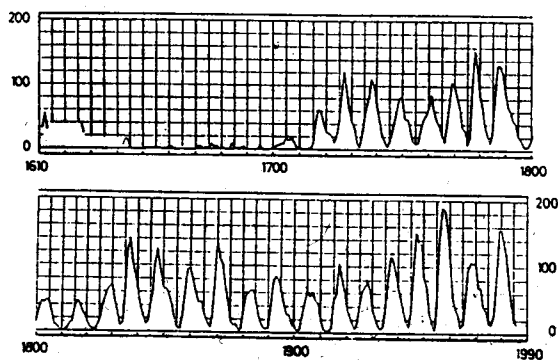


图 10 太阳黑子相对数年均值变化曲线

升,当它们与太阳表面碰撞时,磁力线穿越太阳表面,成为局部强磁场区,就是太阳黑子。而其他形形色色的活动现象,则是活动区的强磁场与太阳大气中电离气体相互作用的结果。

太阳活动虽然强烈,但它们发射的能量与整个太阳辐射能相比,则是微不足道的。例如,太阳大耀斑的发射能量(包括它的电磁波和粒子发射)估计为 4×10^{32} 尔格,假定其持续时间为 1 小时,则可算出其平均功率为 10^{29} 尔格/秒。这与太阳的总辐射功率 3.845×10^{33} 尔格/秒相比,是可以忽略的。更何况太阳也并非每时每刻都有耀斑。因此,存在太阳活动丝毫不损于把太阳视为一颗稳定的恒星。大功率的稳定辐射加上小功率的周期性的太阳活动,这就是现阶段太阳的主要特征。

太阳对地球的影响

地球实际上是浸泡在太阳光辐射和粒子流(太阳风)当中,因此地球附近空间环境的主要特征在很大程度上是由太阳光辐射的能谱(辐射强度随波长的变化)和粒子流的能谱(粒子流量随粒子能量的变化)确定的。太阳稳定的光辐射和粒子流决定了地球附近空间环境的定常状态。例如,在太阳 X 光和紫外光作用下,地球大气中形成了电离层和臭氧层,而太阳风则把地磁场压缩成彗星的形状(称地磁层),并在其中形成了内、外辐射带。它们是被地磁场捕获的太阳粒子的集中区。在此基础上,太阳活动产生的光辐射(主要是 X 光和紫外光等短波辐射)和粒子流增强就构成了对定常状态的扰动,产生了各种异常现象,也称为地球物理效应。

太阳活动对地球的影响,最严重的就是太阳上发生耀斑时产生的一系列地球物理效应。最先是耀斑产生的 X 光和紫外光(特别是其中 $1 \sim 10$ 埃的 X 光)于 8 分多钟后到达地球,使地球电离层 D 层的电子密度突然增大,从而使无线电通讯中依靠更高电离层(E 和 F 层)反射的短波(波长约 $10 \sim 50$ 米)在其通过 D 层时受到严重吸收,造成通讯信号减弱,甚至中断。这一现象也称为电离层突然骚扰。

耀斑发射的高能粒子(其成分主要为质子)一般于耀斑发生后几小

时至十几小时到达地球附近。这些粒子的能量很大,将对人造卫星和宇宙飞船等航天器以及宇航员造成损害,甚至殃及宇航员生命。1991年3月,太阳的几次大耀斑发射的高能粒子流,曾损坏了日本广播卫星的电池板,造成供电不足,使其3个频道中的一个不能工作。欧洲海事通讯卫星 MARECS-A 也因表面带电引起局部弧光放电,损坏了太阳能电池板,使其功率下降而退出服务。1990年11月初的太阳耀斑发射的高能粒子流也曾使我国的“风云一号”气象卫星受到轰击,造成计算机程序混乱,无法控制卫星姿态,导致卫星在空间翻转。太阳高能粒子流损害宇航员的事故尚未发生,然而地面实验室的模拟表明,太阳耀斑发射的高能粒子流将会对进行空间行走的宇航员造成损害,即使在航天器中的宇航员,也会造成相当严重的危害。因此,应当尽量避免在太阳活动强烈时期进行航天(特别是载人航天)活动。为了避免危险,载人航天器一般都在内辐射带高度以下(低于800公里)飞行,这样可以在一定程度上受到辐射带的屏蔽保护。甚至在高纬和极区附近飞行的高空飞机,由于那里没有辐射带的保护(地球辐射带的纬度范围只有 $\pm 70^\circ$),也会受到耀斑发射的高能粒子的轰击,危及乘客的安全。

太阳耀斑发射的更大量的低能粒子为同等数量的质子和电子所构成的等离子体,它们通常在耀斑发生后1~3天到达地球,冲击地球磁层和电离层,引起磁爆和电离层爆。大量低能粒子通过地球两极地区进入电离层(主要是F层)后产生电离层爆,它对无线电通讯造成的损害比上述电离层突然骚扰要严重得多,一般会持续好几天。这些粒子撞击地球极区高空大气的原子和分子,使它们受到激发而发光,出现壮丽的极光现象。另一方面,大量低能粒子在地磁场中运动还会产生强大的感应电流,它在引起磁爆的同时,还会严重损坏高纬地区的供电设备、输油管道,甚至电话线路。例如,1989年3月一系列太阳耀斑发射的等离子体引起的磁爆,使加拿大魁北克地区的电力系统遭到严重破坏,电力供应中断9小时。磁爆期间,由于地磁场的正常状态遭到破坏,因此还会影响到利用地磁场进行作业的其他领域,如物理探矿、导航和航测等部门,甚至会使信鸽迷路。

除了耀斑以外,其他一些太阳活动现象如特大的黑子群、日珥爆发