

曾治权等 编著

日地关系

地震出版社

日 地 关 系

曾治权等 编著

地 震 出 版 社

1 9 8 9

内 容 提 要

本书概要地介绍了日地关系这门年轻学科的一些基本知识和新近所取得的一些重要研究成果。全书共分六章：第一章太阳和太阳活动，说明太阳对地球和人类活动的意义、太阳的结构和各种太阳活动现象；第二章太阳和行星际空间，说明行星际空间不是真空的，介绍了太阳风和行星际磁场的一些探测和研究结果；第三章太阳活动和地球磁场，介绍了地磁场的一些基本知识，着重说明了太阳活动引起地磁场的各种变化以及地球磁层的结构；第四章太阳活动和地球高层大气，介绍了电离层和极光的一些基本知识；第五章太阳活动和地球低层大气，着重介绍太阳活动引起地球天气、气候变化的一些统计研究结果；第六章太阳活动及其地球物理效应预报，着重说明为什么要进行预报，预报的内容和方法。

本书语言通俗，避免了繁杂的数学推导和运算，适于高中以上文化程度的读者阅读，也可供从事天文、地球物理、水文气象、通讯等科研人员参考。

地震出版社 出版

北京复兴路63号

北京百善印刷厂印刷

地震出版社发行

850×1168 1/32 印张 7.625 字数 208千字

1989年1月第一版

1989年1月第一次印刷

印数 0001—1500

ISBN 7-5028-0211-8/P·136

(599) 定价：3.90元

目 录

前言

第一章 太阳和太阳活动	(1)
第一节 太阳对地球和人类活动的意义	(1)
第二节 太阳的位置、距离、大小和质量	(2)
第三节 太阳的结构	(4)
一、太阳内部结构	(4)
二、光球	(7)
三、色球	(9)
四、日冕	(11)
第四节 太阳磁场	(14)
一、概况	(14)
二、太阳磁场的测量	(15)
三、太阳的普遍磁场和整体磁场	(16)
第五节 太阳活动	(17)
一、太阳黑子	(17)
二、光斑、谱斑和日冕凝聚区	(35)
三、日珥(和暗条)	(37)
四、太阳耀斑	(42)
五、日冕瞬变	(50)
六、活动区、活动经度和活动复合体	(52)
七、冕洞	(54)
第六节 太阳射电	(57)
一、太阳射电的发现和研究简史	(57)
二、宁静太阳射电	(58)
三、太阳缓变射电	(59)
四、太阳射电爆发	(60)

第二章 太阳和行星际空间 (64)

第一节 行星际空间的研究概况 (64)

一、行星际空间是真空的吗 (64)

二、行星际空间的探测方法 (66)

第二节 行星际空间的太阳微粒辐射 (68)

一、非连续的太阳微粒辐射 (68)

二、太阳连续微粒流——太阳风 (70)

第三节 行星际磁场 (78)

一、行星际磁场的大小和方向 (78)

二、行星际磁场的准稳态扇形结构 (79)

三、行星际磁场的起源 (82)

第三章 太阳活动和地球磁场 (84)

第一节 概述 (84)

第二节 地球基本磁场 (86)

一、地磁要素、地磁测量和地磁图 (86)

二、长期变化 (91)

三、地磁场的反转 (95)

四、地磁场的成因 (97)

第三节 地球变化磁场 (103)

一、地磁指数、国际磁静日和磁扰日 (104)

二、周期性的地磁变化 (108)

三、磁暴 (114)

四、地磁脉动 (131)

第四节 地球磁层 (137)

一、什么是磁层 (137)

二、磁层的大尺度结构 (139)

三、地球辐射带 (142)

四、磁层模型 (147)

五、磁层亚暴 (148)

第四章 太阳活动和地球高层大气——电离层和

极光 (150)

第一节 电离层 (150)

一、什么是电离层 (150)

二、电离层的发现和探测简史 (151)

三、电离层是怎样形成的 (152)

四、电离层的结构 (154)

五、电离层参数的规则变化 (159)

六、电离层扰动 (163)

第二节 极光 (168)

一、什么是极光 (168)

二、极光的分类 (169)

三、极光的高度 (175)

四、极光的地理分布 (180)

五、极光出现的周期和随时间的变化 (184)

六、极光的初步解释 (185)

第五章 太阳活动和地球低层大气——天气和

气候 (189)

第一节 概述 (189)

第二节 太阳活动与地球天气和气候可能关系的一些统计研究

结果 (192)

一、地球轨道参数的变化与气候的关系 (192)

二、太阳活动水平的长期变化与气候变迁的可能联系 (194)

三、太阳黑子活动与气象的关系 (196)

四、太阳活动瞬变事件与天气的关系 (199)

第三节 太阳活动影响气象的可能机制 (204)

第六章 太阳活动及其地球物理效应预报 (209)

第一节 为什么要进行预报 (209)

一、太阳活动对地球影响概述 (209)

二、哪些方面需要预报 (211)

三、国内外预报研究概况	(216)
第二节 太阳活动性的预报	(217)
一、太阳活动水平的长期和超长期预报	(217)
二、太阳活动的中期预报	(220)
三、太阳活动的短期预报	(221)
第三节 太阳耀斑、质子事件和电离层突然骚扰预报	(223)
一、太阳耀斑预报的意义	(223)
二、太阳耀斑预报	(224)
三、太阳质子事件预报	(226)
四、电离层突然骚扰预报	(230)
第四节 磁暴和电离层暴的预报	(231)
一、磁暴预报	(231)
二、电离层暴预报	(233)
主要参考文献	(235)

前 言

太阳和地球是与人类关系最为密切的两个天体。近三十年来，由于空间科学技术的发展，促进了太阳物理学和地球物理学的迅速发展，同时也推动了太阳活动与一些地球物理现象关系的研究，从而在太阳物理学和地球物理学之间形成了一门边缘学科——日地关系学。这门学问，研究由于太阳活动引起的太阳辐射的变动部分经过日地空间进到地球附近区域的磁层、电离层和大气层后如何引起这些区域的一系列地球物理现象，研究这些地球物理现象的演变规律以及如何应用于国防和国民经济。因此，这门学问使人们提高对物质世界的认识和对生产实践的变革等方面具有重要的意义，尤其在无线电通讯、天气预报、宇宙航行等方面更具有实用价值。

日地关系是一门发展极为迅速而又牵涉到许多学科的内容极其广泛的科学。它所涉及的每一部分都有着相当丰富的内容。因此，要在一本小册子里把所涉及的问题都谈到，并且把许多道理说清楚，就本书编著者的学识水平是难于做到的。所以，只能就其中的某些部分做简略的介绍，即便如此，书中仍难免有许多错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

在本书编写过程中，始终得到陈志强教授的热情指导和鼓励，并亲自审阅了有关章节。此外，还得到有关专家，如林元章、魏奉思、孙炜、周国成、郑体容、叶宗海等的热情帮助，他们分别详细地审阅了本书某些章节的初稿，并提出了许多修改和补充意见，作者在此对他们表示衷心的感谢。另外，本书得到了中国科学院地球物理研究所领导和有关同志的关心、帮助和经费支持，作者也在此表示最诚挚的感谢。

编著者

1988年6月于北京

第一章 太阳和太阳活动

第一节 太阳对地球和人类活动的意义

太阳是所有天体中间同我们人类居住的地球关系最密切的天体。它是太阳系的中心天体，太阳系里的九大行星和其它天体都围绕它运动。太阳是个巨大的辐射源，在它的中心区域核反应产生的能量时刻不停地向外发射，从而供给了地球光和热，维持着我们人类和各种动植物的生存和发展。我们知道，地球表面除了原子能、地热、火山爆发和月球引起的潮汐能外，几乎全部能量都直接或间接地同太阳有关。比如，我们今天使用的主要能源——煤和石油，就是远古时代的植物和动物的遗骸埋在地下经历漫长的地质变迁受到物理化学作用形成的，而植物和动物的生长又都离不开太阳，所以煤和石油实际上就是远古时代贮存在地下的太阳能。又如，水力、风力等动力也明显地同太阳有关。因此，不难设想，一旦太阳停止向地球供给能量，那么地面上的温度将很快地降到接近绝对零度，这时地面上的运动停止了，生命活动没有了，从天空到地面，除了闪烁的繁星外，整个世界一片漆黑，死气沉沉；如果太阳投射到地球上的能量减少一半，整个地面的温度便会降到零摄氏度以下，这时江河、湖泊和海洋都会冻结，地球成了一个冰冻的世界；相反，如果太阳投射到地球上的能量增加二、三倍，江河、海洋里的水便会全部蒸发，地面上现有的生命也无法生存；即使太阳现今的辐射稍微改变一点，也会对地球上的生命造成影响。正是由于太阳能量的产生和发射基本上保持目前这样的平衡状态，地面的平均温度才得以保持在15摄氏度左右，形成人类和绝大部分生物生存的条件。因此，自古

以来，太阳就受到人们的无比崇敬。

长期的观测和研究表明，太阳的连续辐射包括人们的眼睛能看见的光波和可见光以外的电磁辐射（如 γ 射线、X射线、紫外线、红外线和射电波）以及连续的太阳微粒流（太阳风）。正是这些太阳辐射造成了一定的地球环境。比如，紫外线是造成电离层和臭氧层的主要来源；太阳风与地磁场相互作用形成地球磁层。

此外，当太阳上某些区域出现不稳定时，会引起一系列地球物理现象。例如，太阳上发生大耀斑时，伴随着X射线、紫外线等电磁辐射强度急剧增加和大量高能等离子体喷发，使地球磁层、电离层受到干扰，以致引起短波无线电通讯骚扰和中断，引起地磁暴、极光等现象；伴随着特大耀斑喷发的极高能粒子流，还会伤害宇航员的身体，损伤人造卫星及其仪器设备。因此，研究太阳上一些现象发生的原因、过程 and 如何对地球产生影响并预报这些现象的发生，对国防和经济建设都有重大的意义。

由此看来，太阳和地球有着密切的联系。当我们希望了解由于太阳而引起地球上的一系列现象时，先谈谈太阳是必要的。

第二节 太阳的位置、距离、大小和质量

太阳是银河系千千万万颗恒星中的一颗极其普通的恒星，距离银河系中心约33000光年，在银道面以北约26光年。太阳一方面和银河系中的其它恒星一起以250公里/秒的速度绕着银河系中心运动，另一方面又相对于周围的恒星以19.7公里/秒的速度运动。

我们知道，地球绕太阳公转的轨道是椭圆形的，太阳处在椭圆的一个焦点上，所以，在一年中，地球和太阳的距离不断地变化着，有时地球离太阳比较近，有时又比较远。离太阳最近的一点，叫地球的近日点，反之叫地球的远日点。通常人们所说的日地距离，是指太阳和地球的平均距离，更准确地说，是地球公转

轨道的半长径。

日地距离是非常重要的天文常数，很多天文数据都是根据它推导出来的，太阳系里所有天体的坐标、轨道根数都用它为单位来量度。由于日地距离是天文学上常用的一把尺子，所以把它叫做天文单位。因此，对日地距离进行精确测定，长期来一直是实用天文学的重要研究课题之一。现在国际上采用的日地距离的数值为149597870公里，光行一天文单位的时间为8分19.00479秒。这样长的距离，在人们日常生活中是难以想象的。比如，以速度为3600公里/时的高速飞机从地球昼夜不停地飞到太阳大约就需要 $4\frac{3}{4}$ 年，即使以速度为11.2公里/秒的火箭从地球到太阳大约也要154天。可见这个距离该有多大了。

知道了日地距离，如果再测出太阳圆面的视角直径，那么就求得太阳的大小。根据最近的测量得平均角半径为 960.00 ± 0.05 秒，由三角公式算出太阳的半径为696265公里，约为地球半径6378.164公里的109倍。由此求得太阳表面积约为地球表面积的12600倍，太阳体积约为地球体积的130万倍。有人比喻，若把直径为25米的北京天文馆大圆顶比作太阳，那么地球只相当于一个足球的大小。可见，对地球来说，太阳真是一个庞然大物。

太阳的质量，可从地球的质量并根据牛顿所改进的开普勒行星运动第三定律求得，即

$$M + m = \frac{4\pi^2 d^3}{G \cdot p^2}$$

式中 M 是太阳的质量； m 是地球的质量，约等于 5.976×10^{27} 克； d 是日地距离； G 是万有引力常数，等于 6.672×10^{-8} 厘米³/克·秒²； p 是地球绕太阳运行一周的时间，即一年。将这些数值代入上式便可算出太阳的质量，即 $M = 1.9891 \times 10^{33}$ 克，比地球质量约大330000倍。如果把太阳系里所有的行星以及它们的卫星等等的质量全部加起来，大约也只有太阳质量的1/745。这就是说，太阳系里的质量，大约有99.865%集中在太阳上。

由太阳的体积和质量,算出它的平均密度为 1.409克/厘米^3 ,约为地球平均密度 5.517克/厘米^3 的 0.255 倍;太阳表面的重力加速度等于 $2.7398 \times 10^4\text{厘米/秒}^2$,约为地球表面重力加速度 $980\ 665\text{厘米/秒}^2$ 的 28 倍。所以,地球上 1 公斤重的东西,到太阳表面上就几乎变成 28 公斤重了。

第三节 太阳的结构

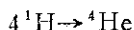
通常把太阳分成内部和大气两大部分,而大气又可再分为光球、色球和日冕三个层次。太阳内部几乎集中了太阳全部物质,其辐射能量的 99% 是这里产生的,然而它是太阳上看不见的部分,它的性质只能靠同观测符合的理论来推断。太阳大气所含物质总量和内部比较是微不足道的,但它的性质可用肉眼和仪器的观测来确定。

图1-1 是根据观测和理论推断得到的太阳总体结构示意图。图中还表示出了某些基本参数(温度、密度等)及向外传送能量的方式。

一、太阳内部结构

根据太阳内部产生或传送能量方式的不同,还可形式地将太阳内部再分为日核、中介层和对流层。

由于太阳的质量很大,所以在太阳自身重力的作用下,物质会向中心区域——日核集中。据推算,在大约只占太阳体积 $1/64$ 的日核里,集中了太阳一半以上的物质,因而这里的物质受到高度压缩,平均密度约 158克/厘米^3 ,压力约 2500 亿大气压,温度约 $1.5 \times 10^7\text{K}$ 。尽管这里物质的密集程度很大,但如此巨大的高温却使它保持气体状态。太阳为保持平衡每秒钟向空间辐射总量高达 3.86×10^{26} 焦耳的能量,几乎都是这里产生的。这样高的能量主要是通过氢原子核(质子)聚变成氦原子核(α 粒子)的过程



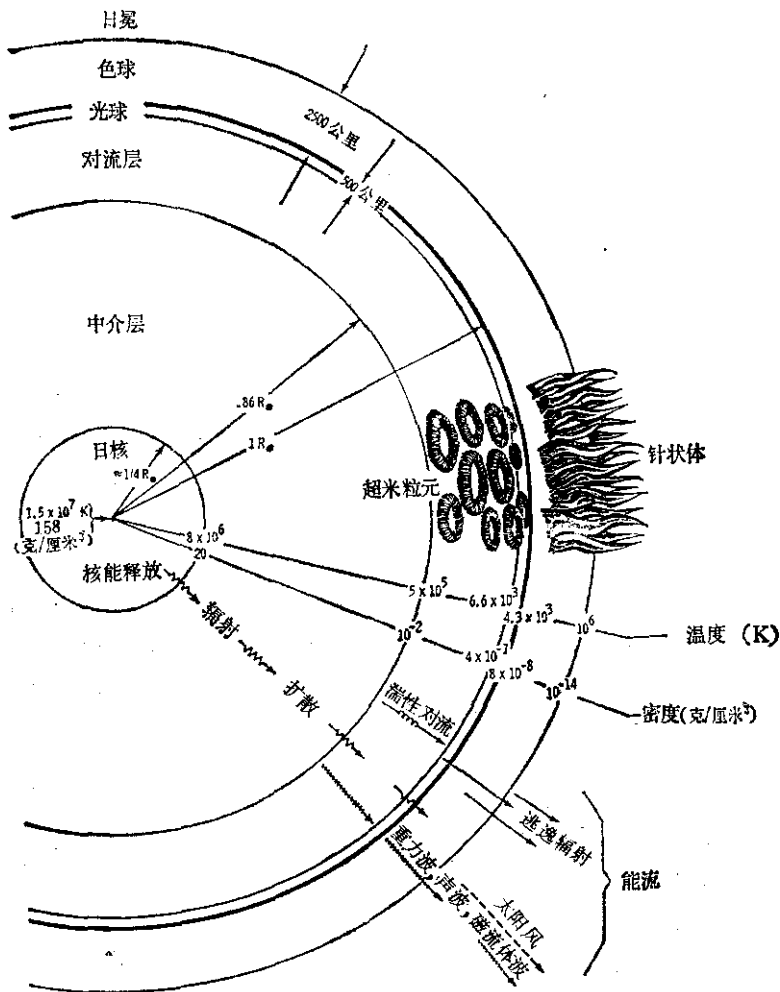


图1-1 太阳总体结构示意图

产生的，所以又可把日核叫做核反应区。

我们知道，一个氢原子核的质量是1.0079原子质量单位，氦原子核的质量是4.0026原子质量单位。所以，在由氢核聚变成氦

核的反应中有

$$\Delta m = 4 \times 1.0079 - 4.0026 = 0.0290$$

原子质量单位的质量损耗了。这就是说，参加反应的每一克氢原子核中约有0.00725克物质转化为能量。按照爱因斯坦质-能转化公式 $E = mc^2$ 一克氢原子核聚变反应所产生的能量 $E \approx 6.25 \times 10^{11}$ 焦耳。这部分能量以光子的方式释放出来。因此，每秒钟要产生高达 3.86×10^{26} 焦耳的辐射能大约需要 6×10^{14} 克的氢核参加反应，也就是说，日核每秒钟大约要消耗 4.3×10^{12} 克物质。看起来这个数字很大，但和太阳总的质量比起来仍然很小。就目前对太阳内部氢含量的估计，太阳至少还能再向地球提供50亿年的光和热，至于在那以后世界又将是一种什么情况，就不是现在要讨论的问题了。

日核外面是中介层，它包括的范围从距日心 $0.25R_{\odot}$ 到 $0.86R_{\odot}$ (R_{\odot} 为太阳半径)，日核中产生的能量就是通过这个区域以辐射的方式向外传送的，所以又可把它叫做辐射区。和温度、密度、压力一样，光子的平均能量也是从日核向外迅速下降的。这是因为光子在由日核向外传播的过程中多次受到物质的吸收和再发射，使由日核发出的能量形式从高能 γ 射线逐渐成为硬 X 射线、软 X 射线、远紫外线、紫外线，最后主要以可见光和红外线的形式从太阳光球向空间发射。

太阳中介层以外光球以内的区域，能量主要靠对流的形式向外传送，所以把这一区域叫做太阳的对流层。一般认为，这一层的厚度大约10万公里。这个气层的存在对太阳物理学是很重要的，因为它像一个巨大的热机，把从日核产生的外流能量的一小部分变为对流能量，成为后面要谈到的太阳大气层里形形色色活动现象产生的根源。此外，关于对流层的作用，还应提到色球和日冕的加热问题。前面已谈到，太阳的能源在日核，然而在光球之外越往外温度越高，尤其日冕温度竟高达一、二百万度。长期来，天文学家对这个问题困惑难解。后来才知道，除对流和辐射

传能方式外，对流层中的湍流还会产生一些强烈的波动（包括声波、磁声波、磁流体波等）把太阳内部的能量向大气传送，从而使色球和日冕产生剧烈的加热作用。后面还将就这个问题作较详细的叙述。

二、光 球

我们平常用肉眼看到的非常耀眼的太阳圆面，或者一般用白光望远镜所观测到的太阳表面，叫做光球。它有一个非常清晰的界限，太阳的直径就是按照这个界限定出来的。

光球是太阳大气的最低层，其厚度大约只有500公里，约为太阳半径的0.07%。它的压力和密度也是很小的，据推算，光球的气体压力大约只有0.1大气压，而密度只有水的 10^{-7} 。骤然看来，光球的密度这样小，它一定是很透明的，其实不然，它像一堵墙一样挡住了太阳内部辐射的外流，使人们看不到太阳内部的容貌。

前面已经提到，太阳每秒钟大约向空间辐射 3.86×10^{26} 焦耳能量。这个数字是怎么得来的呢？为了回答这个问题，首先介绍一个基本的物理量——太阳常数。它等于在地球大气外距离太阳一个天文单位的地方，同太阳光线垂直的单位面积上在单位时间内接收到的所有波长的太阳总辐射能量。不过，要精确测定太阳常数并不容易，原因是必须考虑地球大气对太阳辐射能的吸收效应，还要考虑日地距离是变化的，所以过去测量的结果是很不一致的。观测结果的不一致，除测量和推算方法不同外，是否还包含着太阳常数本身的变化至今尚不清楚。目前，比较普遍采用的太阳常数的数值大约为 1340 W/m^2 。

根据太阳常数的数值，算出太阳每秒钟向空间辐射的总能量 $W \approx 3.86 \times 10^{26}$ 焦耳。若分别以 R_{\oplus} 和 d 代表地球半径和日地距离，则太阳投射在地球上的能量同总辐射能的比值为

$$\pi R_{\oplus}^2 / 4\pi d^2 \approx 4.5 \times 10^{-10}$$

即大约只有 4.5×10^{-10} 的太阳能投射在地球上。

尽管整个说来光球是明亮的，但是它的各个部分的亮度却是很不均匀的。用望远镜（有时甚至用肉眼）常常看到光球上有一些黑色的斑点，叫做黑子；还可以看到一些比光球背景更亮、形状各异的纤维状斑点，即光斑；偶尔还可看到非常耀眼的白光耀斑。关于黑子、光斑、耀斑，后面将详细谈到。

除黑子、光斑外，在高分辨率太阳白光照片上还可看到宁静光球面上布满着估计总数达400万颗米粒状明亮斑点——米粒组织。米粒的亮度随高度变化，各个米粒的亮度也不同，米粒越大越亮，其亮度约比周围背景强10—20%，相应的温差约300—400℃。就同一个米粒而言，中心的温度约比边缘高160℃。这些米粒一般呈不规则形状，其平均尺度约1800公里，最大可达3500公里。由于单个的米粒时而膨胀，时而收缩，有时还发生分裂，所以很难正确估计它的寿命。用统计方法测算出米粒的平均寿命约8分钟，个别的可达15分钟。老的米粒消失了，新的米粒又立即产生出来。

目前认为，光球上的每个米粒都是对流元胞的顶端，它们从内部带出较热的气体，因而显得较亮，一旦将多余热量通过辐射散布后，温度便下降，于是较冷的气体又沿着米粒的外边缘向下流回到对流层。米粒对流运动的速度约0.3—3.0公里/秒。

此外，在显示光球大尺度运动的高分辨率照片上，还可看到大约有2500个比米粒组织大得多的超米粒组织，它们主要表现为水平运动。热的气体从超米粒元胞的中心以约0.04公里/秒的平均速度缓慢上升到光球表面后，便以0.3—0.5公里/秒的速度从中心向四周扩散，冷却后的气体则以约0.1公里/秒的速度从边缘下降。由超米粒的中心区和边缘存在垂直速度，说明超米粒也是光球下面的对流运动引起的，观测表明，单个超米粒的实际尺度约20000—60000公里，平均约32000公里，约为普通米粒的18倍；超米粒的寿命短者几小时，一般为20—40小时，平均20小时。

1960年，美国天文学家R.B.莱顿发现，太阳大气好比海面

一样在作波浪起伏的垂直振荡。莱顿的发现，其原理实际上就是多普勒效应。因此，只要用很精密的仪器，并且监视着某一条光谱线，就会发现它时而向长波方向移动，时而向短波方向移动。不过，谱线的位移量很小，约为波长的百万分之几。由谱线位移量算出气体振荡的最大速度大约为1公里/秒，一般为0.2—0.6公里/秒，并且每个周期不都一样。就日面上一定点而言，在急剧振荡几次后，过一段时间再开始振荡。鉴于一次振荡的周期几乎准确地等于5分钟，故称其为五分钟振荡。

许多天文学家对莱顿的发现产生了浓厚兴趣，并且相继进行大量观测证实了莱顿的发现，同时还发现有7—52分钟的几种周期的振荡以及2小时40分钟的更长周期的振荡。

太阳大气振荡是如何产生的？这是一个尚未完全解决的问题。但是可以肯定，这是一种波动现象，它的根源在对流层。

由于波动在各个层次的传播情况不一样，因此通过对太阳大气振荡的精细观测和分析，可以推断太阳内部的许多知识，就像通过对地震波的研究能推测地球内部深处的知识一样。

如果不考虑光球面上的活动现象和米粒组织，那么容易发现，光球上各部分的亮度是不同的：日面中心区最亮，越靠近边缘越暗。这种现象称为临边昏暗。产生临边昏暗现象的原因很简单，因为太阳大气不是完全透明的。在日面上各个地方，人们的视线只能贯穿到太阳大气内一定的深度，日面中央的辐射是从光球底部以及其上各部分发出的，而在日面边缘视线穿不到光球底部，辐射是从光球底部之上某层及其上各部分发出的。由于光球内温度随深度增加，越往里温度越高，因此可以说日面中心的辐射来自较热的层次，边缘的辐射来自温度较低的层次。温度越高，辐射能量和亮度都越大，因此出现了日面边缘比中心暗的现象。

三、色 球

这是紧挨着光球上面的气层，它的物质密度比光球更低。平