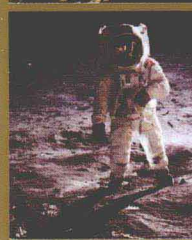


《中国大百科全书》普及版



巡天遥看一千河

天文学卷

无垠的宇宙

《中国大百科全书》普及版编委会 编



XUNTIANYAOKAN YIKIANHE
WUYINDE YUZHOU

《中国大百科全书》普及版

XUNTIANYAO KANYI QIANHE WUYINDE YIZHOU

巡天遥看一千河

无垠的宇宙 【天文学卷】



中国大百科全书出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

巡天遥看一千河：无垠的宇宙 / 《中国大百科全书：普及版》编委会编. —北京：中国大百科全书出版社，2013.8

(中国大百科全书：普及版)

ISBN 978-7-5000-9215-5

I. ①巡… II. ①中… III. ①宇宙学—普及读物 IV. ①P159-49

中国版本图书馆CIP数据核字 (2013) 第180494号

总 策 划：刘晓东 陈义望

策划编辑：裴菲菲

责任编辑：裴菲菲 石 玉

装帧设计：童行侃

出版发行：中国大百科全书出版社

地 址：北京阜成门北大街17号 邮编：100037

网 址：<http://www.ecph.com.cn> Tel: 010-88390718

图文制作：北京华艺创世印刷设计有限公司

印 刷：北京佳信达欣艺术印刷有限公司

字 数：82千字

印 数：1~5000

印 张：7.75

开 本：720×1020 1/16

版 次：2013年10月第1版

印 次：2013年10月第1次印刷

书 号：ISBN 978-7-5000-9215-5

定 价：18.00元

前

言

《中国大百科全书》是国家重点文化工程，是代表国家最高科学文化水平的权威工具书。全书的编纂工作一直得到党中央国务院的高度重视和支持，先后有三万多名各学科各领域最具代表性的科学家、专家学者参与其中。1993年按学科分卷出版完成了第一版，结束了中国没有百科全书的历史；2009年按条目汉语拼音顺序出版第二版，是中国第一部在编排方式上符合国际惯例的大型现代综合性百科全书。

《中国大百科全书》承担着弘扬中华文化、普及科学文化知识的重任。在人们的固有观念里，百科全书是一种用于查检知识和事实资料的工具书，但作为汲取知识的途径，百科全书的阅读功能却被大多数人所忽略。为了充分发挥《中国大百科全书》的功能，尤其是普及科学文化知识的功能，中国大百科全书出版社以系列丛书的方式推出了面向大众的《中国大百科全书》普及版。

《中国大百科全书》普及版为实现大众化和普及化的目标，在学科内容上，选取与大众学习、工作、

生活密切相关的学科或知识领域，如文学、历史、艺术、科技等；在条目的选取上，侧重于学科或知识领域的基础性、实用性条目；在编纂方法上，为增加可读性，以章节形式整编条目内容，对过专、过深的内容进行删减、改编；在装帧形式上，在保持百科全书基本风格的基础上，封面和版式设计更加注重大众的阅读习惯。因此，普及版在充分体现知识性、准确性、权威性的前提下，增加了可读性，使其兼具工具书查检功能和大众读物的阅读功能，读者可以尽享阅读带来的愉悦。

百科全书被誉为“没有围墙的大学”，是覆盖人类社会各学科或知识领域的知识海洋。有人曾说过：“多则价谦，万物皆然，唯独知识例外。知识越丰富，则价值就越昂贵。”而知识重在积累，古语有云：“不积跬步，无以至千里；不积小流，无以成江海。”希望通过《中国大百科全书》普及版的出版，让百科全书走进千家万户，切实实现普及科学文化知识，提高民族素质的社会功能。

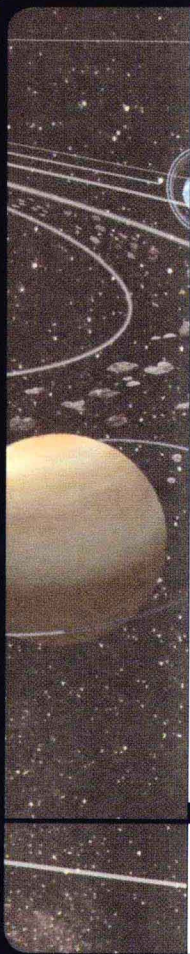
2013年6月

第一章 太阳系大家庭

一、万物生长的力量——太阳	1
二、最靠近太阳的行星——水星	11
三、中国人眼中的“启明星”——金星	14
四、人类的美好家园——地球	17
五、引人注目的红色行星——火星	24
六、八大行星中最大的一颗——木星	29
七、最美丽的行星——土星	33
八、第一颗使用天文望远镜发现的行星——天王星	36
九、“蓝色行星”——海王星	39
十、太阳系的“云雾”小天体——彗星	41

第二章 探索的脚步

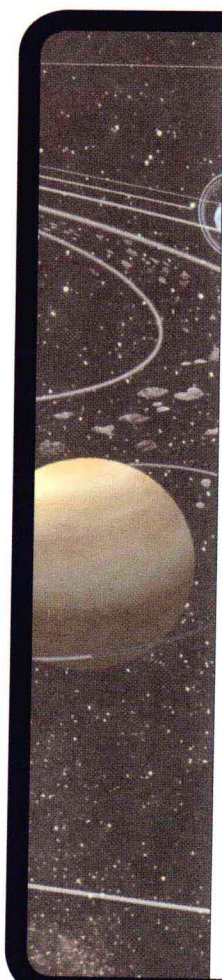
一、大爆炸宇宙学	46
二、相对论宇宙学	48
三、“阿波罗”登月	49



四、哈勃空间望远镜	52
五、“联盟”号飞船	53
六、黑洞	55
七、白洞	59
八、类星体	59
九、超新星	63
十、暗物质	69
十一、暗能量	72
十二、“神舟”飞船	73
十三、“嫦娥”卫星	75
十四、格林尼治皇家天文台	77
十五、紫金山天文台	78

第三章 百折不挠的探索者

一、哥白尼	79
-------	----



二、布鲁诺	82
三、伽利略	83
四、开普勒	86
五、牛顿	89
六、哈雷	97
七、爱因斯坦	98
八、哈勃	107
九、霍金	108
十、加加林	109
十一、阿姆斯特朗	110
十二、戴文赛	111
十三、张钰哲	112
十四、王绶琯	113
十五、杨利伟	113



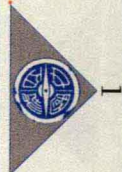
第一章 太阳系大家庭

[一、万物生长的力量——太阳]

1. 太阳

太阳系的中心天体。太阳系的八行星和其他天体都围绕它运动。天文学中常以符号 $\odot$ 表示。它是银河系中一颗普通恒星，位于距银心约 10 千秒差距的旋臂内，银道面以北约 8 秒差距处。它一方面与旋臂中的恒星一起绕银心运动，另一方面又相对于它周围的恒星所规定的本地静止标准（银经 56° ，银纬 $+23^\circ$ ）作每秒 19.7 千米的本动。

基本参数 太阳与地球的距离可用多种方法测定。最简单的方法是测定太阳视差，就是地球半径在太阳处的张角（约为 $8''.8$ ），然后由三角关系推算。更精确的是用雷达方法测定地球与金星的距离，再由开普勒第三定律推算。测量结果表明，日地平均距离（地球轨道半长轴） A 为 1.496×10^8 千米，其周年变化约为 1.5%，每年 1 月地球在近日点时为 1.471×10^8 千米，7 月在远日点时为



1.521×10^8 千米。光线从太阳到达地球需时约 500 秒。当观测者在日地平均距离处注视太阳时，视向张角 $1''$ 对应于日面上 725.3 千米。

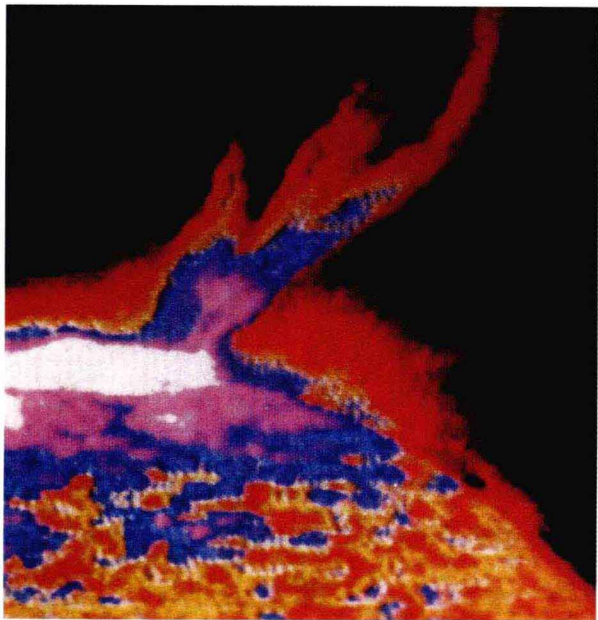
在日地平均距离处测定太阳的角半径为 $16'$ ，因而可算得太阳半径 R 为 6.963×10^5 千米，或约为 70 万千米，即为地球半径的 109 倍左右。太阳体积则是地球体积的 130 万倍。由开普勒第三定律可算得太阳质量 M 为 1.989×10^{30} 千克。太阳的平均密度 ρ 为 1.408 克 / 厘米³。

太阳的总辐射功率可通过直接测量确定。根据“太阳极大年使者”人造卫星 (SMM) 上辐射仪的测量结果，在日地平均距离处、地球大气外垂直于太阳光束的单位面积上、单位时间内接收到的太阳辐射能量 S 为 1367 瓦 / 米²，这个数值称为太阳常数。这样整个太阳的总辐射功率为：

$$L = 4\pi A^2 S = 3.845 \times 10^{26} \text{ 焦 / 秒}$$

单位太阳表面积的发射率为：

$$a = L / 4\pi R^2 = 6.311 \times 10^3 \text{ 焦 / (秒} \cdot \text{厘米}^2\text{)}$$



从“天空实验室”上拍摄到的太阳照片



太阳的基本参数

日地平均距离	$A=1.496 \times 10^8 \text{ km}$
半径	$R=6.963 \times 10^5 \text{ km}$
质量	$M=1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$
表面重力加速度	$g=2.74 \times 10^4 \text{ cm/s}^2$
表面逃逸速度	$V=617.7 \text{ km/s}$
平均密度	$\rho=1.408 \text{ g/cm}^3$
中心密度	约 150 g/cm^3
表面密度 (光球)	约 10^{-9} g/cm^3
表面温度 (光球)	约 6000 K
中心温度	约 $16 \times 10^6 \text{ K}$
太阳常数	$S=1367 \text{ W/m}^2$
总辐射功率	$L=3.845 \times 10^{26} \text{ J/s}$
化学组成 (按质量百分比)	氢 71%, 氦 27% 其他元素 2%

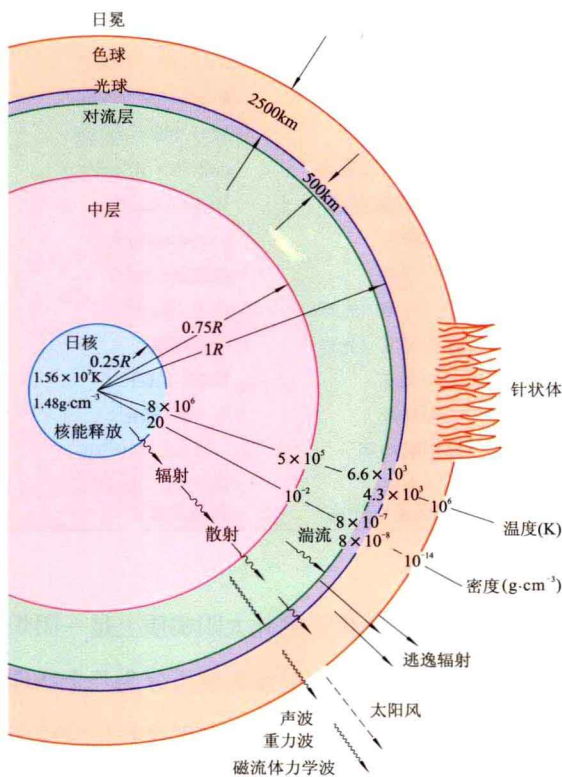
太阳上不同区域的温度,原则上可通过观测不同区域的辐射特征来确定,如连续光谱中的能谱分布、谱线轮廓和电离谱线的出现情况等。光谱观测还可得到太阳大气的化学组成、密度、压力、磁场强度、自转和湍流速度等物理参数。太阳的各种基本参数见表。

总体构造 由太阳光谱研究推算太阳表面温度约为 6000 K , 而结合理论推算的太阳中心温度高达

$16 \times 10^6 \text{ K}$, 在这样的高温条件下, 所有物质都已气化, 因此太阳实质上是一团炽热的高温气体球。通过观测和理论推算表明, 整个太阳球体大致可分为几个物理性质很不相同的层次。除了中心区氢因燃烧损耗较多外, 其他各层次在化学组成上无明显差别。

从太阳中心至大约 0.25 太阳半径的区域称为日核, 是太阳的产能区。日核中夜以继日地进行着四个氢原子聚变成一个氦原子的热核反应, 反应中损失的质量变成了能量, 主要为 γ 射线光子和少量中微子。约从 0.25 至 0.75 太阳半径的区域称为太阳中层。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, 即物质吸收波长较短的光子后再发射出波长较长的光子。虽然光子的波长不断变长, 但总的能量无损失地向外传播。区域的温度由底部的 $8 \times 10^6 \text{ K}$ 下降到顶部的 $5 \times 10^5 \text{ K}$; 密度由 10^{-2} 克/厘米^3 下降到 $4 \times 10^{-7} \text{ 克/厘米}^3$ 。从 0.75 太阳半径至太阳表面附近是太阳对流层, 其中存在着热气团上升和冷气团下降的对流运动。产生对流的主要原因是温度随高度变化引起氢原子的电离和复合。

对流层上方是一个很薄而非常重要的气层, 称光球层或光球。当用肉眼观察



太阳球体分层结构

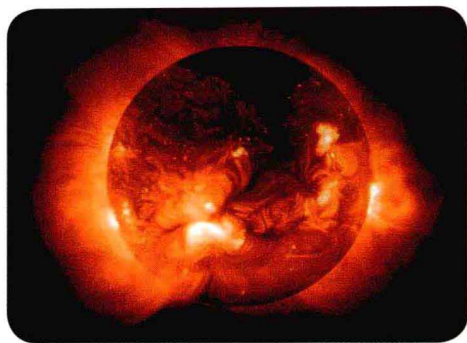
太阳时，看到的明亮日轮就是太阳光球。光球的厚度不过 500 千米，但却发射出远比其他气层强烈的可见光辐射。太阳在可见光波段的辐射几乎全部是由光球层发射出去的。因此当用肉眼观察太阳时，它就非常醒目地呈现在面前，这就是把它称为光球的原因。太阳半径和太阳表面都是按光球外边界来定义的。光球外面是较厚和外缘参差不齐的气层，称色球层或色球，其厚度在 2000 ~ 7000 千米之间。高度在 1500 千米以下的色球比较均匀，1500 千米以上则由所谓

针状体构成。色球的密度从底部向上迅速下降，但其温度却从底部的几千度球、色球和日冕合称太阳大气，可通过观测它们的辐射特征，并结合理论分析来推测它们的物理构造。日核、中层和对流层则合称太阳内部或太阳本体，它们的辐射被太阳本身吸收，因而不能直接观测到它们，其物理构造主要依靠理论推测。

活动现象 太阳基本上是一颗球对称的稳定恒星。然而大量观测表明，太阳在稳定和均匀地向四面八方发出辐射的同时，它的大气中的一些局部区域，有时还会发生一些存在时间比较短暂的“事件”。如在太阳光球中，可观测到许多比周围背景明显暗黑的斑点状小区域（称为太阳黑子）和比背景明亮的浮云状小区域（称为光斑）；色球中也可经常观测到比周围明亮的大片区域（称为谱斑）和



突出于太阳边缘之外的奇形怪状的太阳火焰（称为日珥）；日冕中也可观测到许多明显的不均匀结构。特别是在色球和日冕的大气层中，偶尔还会发生表明有巨大能量释放的太阳爆发现象（称为耀斑）。上述现象不仅存在的时间比较



日冕

短暂且不断变化，而且往往集中在太阳黑子附近的太阳大气的局部区域（这些局部区域称为太阳活动区）。同时，这些现象发生的过程中，尤其是发生太阳耀斑期间，从这些区域发射出增强的电磁波辐射和高能粒子流，特别是在 X 射线、紫外线和射电波段出现非常强的附加辐射，以及能量范围在 $10^3 \sim 10^9$ 电子伏的带电粒子流（主要为质子和电子）。通常把太阳上所有这些在时间和空间上的局部化现象，及其所表现出的各种辐射增强，统称为太阳活动。与此对应，把不包含这些现象的理想太阳，即时间上稳定、空间上球对称和均匀辐射的太阳，称为宁静太阳。

宁静太阳的物理性质在空间上只随日心距变化，在同一半径的球层中物理性质是相同的；在时间上几乎是不变的，其变化时标为太阳演化时标，即大于 107 年。这样就可把真实的太阳看作是以宁静太阳为主体并附加有太阳活动现象的实体。换句话说，可把宁静太阳看作是真实太阳的基本框架，而把太阳活动看作是对宁静太阳的扰动。

太阳活动现象中，一次耀斑过程的持续时间只有几分钟至几小时，一个活动区的寿命约为几天至几个月。同时，整个太阳大气中所发生的太阳活动现象的多寡，还表现出平均长度约为 11 年的周期（称为太阳活动周），也可能存在更长的周期。因此太阳活动的时标可认为从几分钟至几十年。太阳活动区本质上是太阳大气中的局部强磁场区，而各种活动现象则是磁场与太阳等离子体物质的相互作用结果。

应当指出，太阳活动所涉及的能量大小与整个太阳的总辐射能相比，仍然是微不足道的，如一次大耀斑释放的能量估计为 4×10^{25} 焦，若其持续时间为 1 小时，

则其辐射功率为 10^{22} 焦 / 秒，与太阳的总辐射功率 3.845×10^{26} 焦 / 秒相比是可忽略的。因此存在太阳活动现象丝毫无损于把太阳视为一颗稳定的恒星。大功率的稳定的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。

各种辐射 广义的太阳辐射包括向外发射的电磁波、太阳风、中微子、偶发性高能粒子流，以及声波、重力波和磁流波。电磁波辐射来自太阳大气。太阳风就是从日冕区连续外发射的等离子体，主要是质子和电子。太阳中微子是由日核中的核反应产生的，它们几乎不与太阳物质相互作用，而是直接从太阳内部向外逃逸。偶发性高能粒子流是当太阳大气中发生耀斑、爆发日珥和日冕物质抛射等剧烈太阳活动现象时产生的，这些粒子流不一定是等离子体，往往是质子或电子占优势。声波、重力波和磁流波主要是由太阳对流层中猛烈的气团运动激发并与磁场耦合产生的。太阳在上述各种形式的能流中，电磁波的能流远远超过其他形式的能流，如太阳风的发射功率约比电磁波小 6 个数量级，其他能流就小得更多。这样从能量的角度看来，电磁波以外的其他能流是可忽略的。因此若无特殊说明，通常都把太阳辐射理解为太阳电磁波辐射。

太阳电磁波辐射的波长范围从 γ 射线、X 射线、远紫外、紫外、可见光、红外，直到射电波段。但由于地球大气的吸收，能够到达地面的太阳辐射只有可见光区、红外区的一些透明窗口和射电波段。太阳的紫外、远紫外、X 射线和 γ 射线只能进行高空探测。太阳电磁辐射的波段划分见表。

太阳电磁辐射波谱

波段	波长 (nm)	能量范围 (eV)
γ 射线	$\lambda < 2.5 \times 10^{-3}$	$E > 5 \times 10^5$
硬 X 射线	$0.0025 \leq \lambda < 0.1$	$12.4 \times 10^3 < E \leq 5 \times 10^3$
软 X 射线	$0.1 \leq \lambda < 10$	$0.124 \times 10^3 < E \leq 12.4 \times 10^3$
远紫外 (EUV)	$10 \leq \lambda < 150$	$8.24 < E \leq 124$
紫外 (UV)	$150 \leq \lambda < 300$	$4.13 < E \leq 8.24$
可见光	$300 \leq \lambda < 750$	$1.65 < E \leq 4.13$
红外 (IR)	$750 \leq \lambda < 10^6$	$0.00124 < E \leq 1.65$
射电	$\lambda \geq 10^6$	$E \leq 0.00124$

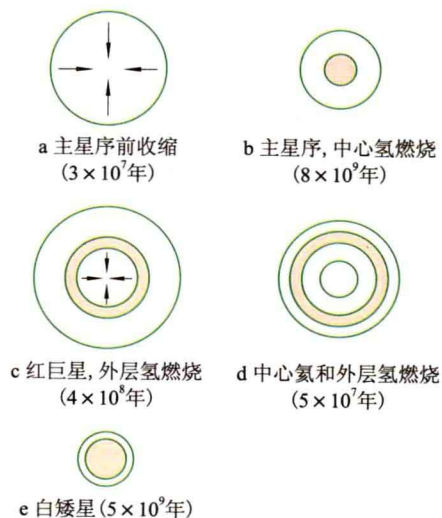


太阳电磁波辐射的主要功率集中在可见光区和红外区，分别占太阳总辐射能量的 41% 和 52%。极大辐射强度对应的波长为 495 纳米，在黄绿光区。紫外线所占的能量比重仅为 7%。而太阳无线电波段以及远紫外、X 射线和 γ 射线所占的能量比重是可忽略的。粗略地说，太阳紫外线、可见光和红外波段的辐射是由光球发射的，而远紫外、X 射线、 γ 射线和射电波段则来自太阳高层大气（色球和日冕）。

形成和演化 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研究，并已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分为五个阶段。

①主序星前阶段。包括太阳在内的所有主序星都是由密度稀薄而体积庞大的原始星云演变来的。当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。结果是星云中心区的密度和温度逐渐增大，并最终使其达到氢原子核聚变所需的密度和温度，这样便发生氢变成氦的核反应，它所释放的辐射压力与引力平衡，使星云不再收缩，形成一颗恒星。这个阶段经历的时间大约只需 3000 万年。

②主序星阶段。以氢燃烧为能源，标志着太阳进入主序星阶段。由于太阳的氢含量很大，能源非常稳定，从而太阳的状态也非常稳定。因此这个阶段相当于太阳的青壮年时期。太阳已经在这个阶段经历了 46 亿年，这就是太阳的年龄（主序星前的 3000 万年可忽略）。根据理论推算，太阳还将在这个阶段稳定



太阳的形成和演化

地“生活”34亿年，然后进入动荡的晚年时期。

③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开始燃烧，壳层上面的气体温度上升，结果使太阳大规模膨胀。由于太阳光度的增大不如表面积增大快，单位表面积的发射功率下降，辐射波长移向红区，使太阳变成了一颗巨大的暗红恒星，即红巨星。太阳在红巨星阶段经历的时间大约是4亿年。

④氦燃烧阶段。当太阳中心氢耗尽并变成原子量较大的氦之后，中心部分又开始收缩，密度和温度继续增大。当温度达到 10^8K 时，氦核开始聚变燃烧。与此同时，外面氢燃烧层的半径继续增大，但燃烧层的厚度却不断减少。中心氦和壳层氢耗尽后，接着就是壳层氦燃烧。太阳的氦耗尽之后，还可能经历几个更重元素的燃烧期。不过由于其他元素含量很少，这些时期均非常短暂。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则更短。

⑤白矮星阶段。当太阳的主要燃料氢和氦耗尽之后，体积进一步缩小，它的半径可缩小到只有目前太阳半径的1%，而密度大约是现在的100万倍。这时太阳的光度只有目前太阳的1%~10%，成为一颗很小的高密度暗弱恒星，即白矮星。太阳在白矮星阶段大约经历50亿年之后，它的剩余热量也扩散干净，终于变成一颗不发光的恒星——黑矮星。

根据理论推测的太阳演化过程中不同阶段的基本特征，如红巨星和白矮星等，均能在众多的恒星世界中找到实例，因此通常认为这种推测是可信的。

2. 太阳黑子

太阳表面出现的暗黑斑块。最常见和最容易观测到的一种太阳活动现象。简称黑子。在普通望远镜的焦平面上放置照相底片拍摄太阳，或用附加强减光滤光片的望远镜对太阳目视观测，就能看到太阳表面经常出现的暗黑斑块，就是太阳黑子。当太阳在地平线附近，或遇到薄雾天气时，日面上若有特大的黑子，往往用肉眼就能看到。



《汉书·五行志》中记载的汉元帝永光元年（前 43）四月某日“日色青白，亡影（无影），正中时有景（影）亡（无）光”是世界上最早的太阳黑子观测记录。若认为这段描述尚不够明确，则该书中的另一段记载，成帝河平元年（前 28）三月己未“日出黄，有黑气，大如钱，居日中央”则是确切无疑的黑子记录，也是世界上最早的记录。自公元前 43～公元 1638 年，中国史书上已发现有 112 条太阳黑子目视记录。西方国家从 1610 年开始才用望远镜断断续续地观测太阳黑子，1818 年后才有较常规的每日黑子观测，从而才有比较完整的和连续不断的太阳黑子观测资料。

黑子分布 太阳黑子倾向于成群出现，因此日面上经常形成一些黑子群。每群中的黑子从一两个至几十个，单个黑子大小则从几百至几万千米。大部分黑子群由大致与太阳赤道平行的两部分组成。由于太阳自转原因，西边部分总在前面，称为前导部分；东边部分称为后随部分。前导部分的黑子大都比后随部分大，黑子的分布也较后随紧密，寿命也较长，而且比后随部分早出现和晚消失。前导黑子的纬度一般也较后随黑子稍低，因此黑子群相对于太阳赤道略为前倾，黑子群通常出现在太阳赤道两边 $\pm 40^\circ$ 之间的区域。

本影和半影 较大的黑子结构复杂，其中心区常有一块或几块特别暗黑的核块，称为本影。围绕本影的淡黑区域称为半影。

光谱观测表明，本影区的温度为 $4000 \sim 4500\text{K}$ 之间，半影区温度约为 5500K ，均比太阳表面无黑子区域的温度（约 6000K ）要低。高质量的照片上可看到黑子半影呈亮暗相间的纤维状结构，称半影纤维。本影中有时也出现一些亮颗粒，称为本影点。观测显示，半影中的亮纤维和本影中的亮颗粒均有向上的运动速度，与因对流运动引起的太阳表面的米粒组织有些相似，可见在黑子中对流并未完全消失。

单个黑子都有很强的磁场，强度为 $1000 \sim 4000$ 高斯。黑子越大，磁场越强，黑子本质上是太阳表面的强磁场区。由于太阳等离子体难以横越磁力线运动，造成