

“太空探索”科普系列

TAIKONGTANSUO KEPUXILIE

# 发怒的 太阳

FANU DE  
TAIYANG

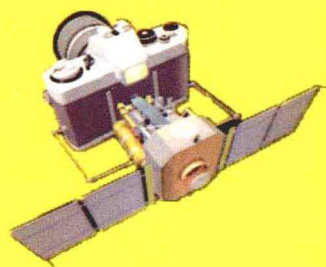
焦维新 著



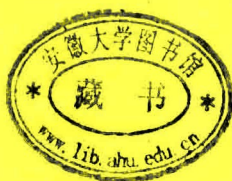
化学工业出版社



# 发怒的 FANU DE TAIYANG 太阳



焦维新 著



化学工业出版社

· 北京 ·

太阳给地球带来光和热,是维持地球上一切生命的源泉。但太阳并不总是那么温柔,还经常“发怒”。本书系统地介绍了太阳爆发性活动和周期性活动的特点,主要内容涉及太阳耀斑、日冕物质抛射和太阳黑子周。太阳“发怒”时将使地球空间发生磁暴、亚暴、电离层暴和突发式电离层骚扰。地球空间环境的剧烈变化又将影响人类的航天活动和一些重要的高技术系统。

本书以丰富的彩色图片,描述了在太阳表面发生的各种现象。书的末尾还附有诗配画,让读者欣赏艺术世界的太阳。

本书是科普读物,适合小学中高年级及以上文化程度的读者,也可作为与空间天气有关的科技人员的参考书。

#### 图书在版编目(CIP)数据

发怒的太阳 / 焦维新著. —北京: 化学工业出版社, 2013.8

(“太空探索”科普系列)

ISBN 978-7-122-17255-6

I. ①发… II. ①焦… III. ①太阳 - 普及读物 IV. ①P182-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 091549 号

---

责任编辑: 黄 滢  
责任校对: 陈 静

文字编辑: 谢蓉蓉  
装帧设计: 尹琳琳

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

710mm × 1000mm 1/16 印张 10<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 字数 134 千字 2013 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

# 前言 | FOREWORD

人类进入太空时代已经半个世纪了，经过 50 多年的太空探索，人类对太空的认识也有了巨大的飞跃；同时，迅速发展的空间技术，也在不断地提高人们的生活质量。

但太空毕竟是巨大而复杂的，50 年所获得的知识还是有限的。现在，世界许多国家都提出了新的、宏伟的探索计划。可以预见，再过 50 年，人类对太空的认识，无论从深度和广度，都将有新的飞跃，人类的生活方式和生活质量，也将随着空间技术的发展而发生巨大的变化。

笔者近 20 年来在北京大学讲授“太空探索”课，学生选课的热情和对太空的关注度，给我留下深刻的印象。另外，本人每年在中小学做近百场科普讲座，广大中学生在讲座会场所洋溢出的热情，使我感动不已。学生听课时的全神贯注、提问时的踊跃，会场的活跃气氛，都充分说明了青少年对太空知识的渴望。

目前，我国正在实施探测月球的嫦娥工程和载人航天的“三步走”计划；另外，我国的科学工作者还提出了自主探测火星、金星和小行星的计划，观测太阳的“夸父计划”，载人登月计划、观测宇宙的空间硬 X 射线调制望远镜计划等等。随着这些计划的深入实施和新计划的执行，我国民众对太空关注的热情将日益高涨。

上述情况说明，广大中小学生和民众非常关注太空活动，迫切期望了解太空的知识。正是基于这样的认识，我下决心“开设”一门中学生版的“太空探索”课，将课堂扩大到社会，使读者对广袤无垠的太空有系统的了解和全面的认识，对空间技术的魅力有实实在在的体会，从根本上激发青少年热爱科学、刻苦学习、奋发向上，树立为祖国的科技腾飞贡献力量的理想。

本套丛书的内容按照中小学生的特点加以扩展，强调知识性、趣味性



和可读性。每册一个专题，具有相对独立性。涉及太空中各类天体的特征与探索历程、探索太空的方式和技术、太空资源与开发利用、太空对人类潜在的灾害及预防等方面。

目前计划出版的图书包括《发怒的太阳》、《奇妙的地球空间》、《寻找地外生命》和《天地大碰撞》。以后视需求情况，会陆续增加一些内容。

笔者曾出版多部著作，但为青少年写系列科普书还是第一次。为了满足青少年的需求，在初稿完成后，曾请文科大学生和小学生阅读，征求他们的意见。夫人刘月兰仔细地、反复地阅读初稿，对每个章节的难易程度提出自己的看法，还对文字进行推敲。儿子焦长锐和儿媳周媛也对书稿提出修改意见。正是在家人的大力帮助下，才完成了这套科普丛书的写作。在此对他们表示感谢。

著 者

# 目录 | CONTENTS

## 第1章 太阳是什么样的天体 |010

### 1.1 壮观的表面 |1

#### 1.1.1 诗情画意的太阳 |1

#### 1.1.2 望远镜下真面目 |2

### 1.2 突出的特征 |4

#### 1.2.1 七色光大家族 |4

#### 1.2.2 短波长大变化 |6

### 1.3 位置与数字 |7

#### 1.3.1 在银河系中的位置 |7

#### 1.3.2 太阳的趣味数字 |8



## 第2章 由里向外看太阳 |14

### 2.1 难以想象的内部世界 |15

#### 2.1.1 连续进行核爆炸的心脏 |15

#### 2.1.2 光子缓慢外流的辐射区 |16

#### 2.1.3 上下剧烈翻腾的对流区 |17

### 2.2 光球照亮世界 |19

#### 2.2.1 太阳并不完美 |20

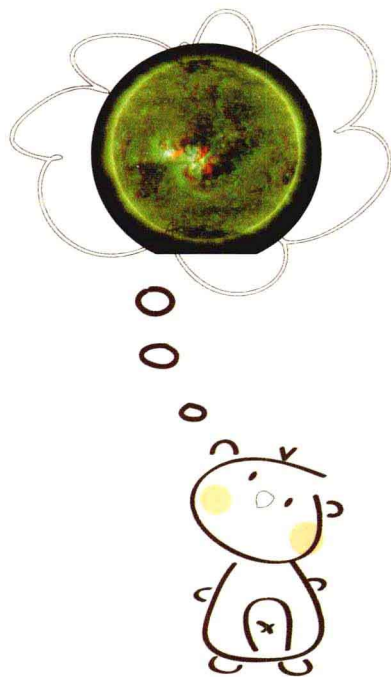
#### 2.2.2 无处不在的磁场 |23

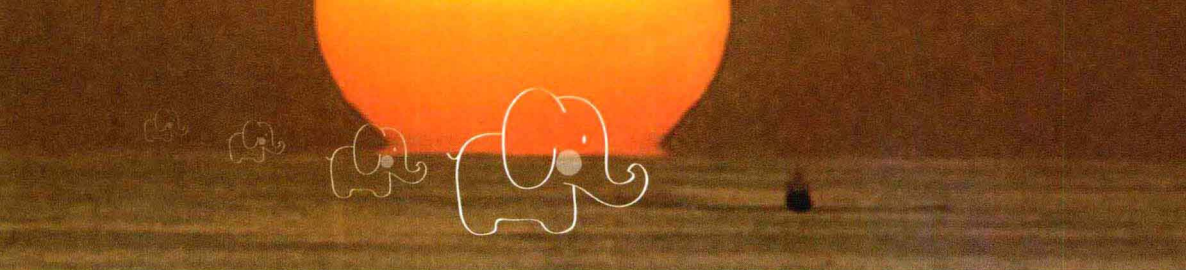
#### 2.2.3 比地球还大的“米粒” |24

### 2.3 色球层与过渡区 |26

#### 2.3.1 色球层五彩缤纷 |26

#### 2.3.2 过渡区神秘莫测 |30





## 2.4 奇异的日冕 |31

2.4.1 太空艺术品 |31

2.4.2 活动与宁静 |32

2.4.3 冕洞与冕环 |34

2.4.4 日冕加热之谜 |38

## 第3章 发怒的太阳 |42

### 3.1 太阳系最大的能量释放事件 |43

3.1.1 耀斑不仅仅是明亮 |43

3.1.2 能量来自何方 |50

### 3.2 巨大的日冕物质喷发 |51

3.2.1 壮观的日冕物质喷射 |51

3.2.2 伴随的剧烈活动现象 |54

3.2.3 日冕物质喷射的能量 |56

### 3.3 强烈的高能带电粒子发射 |57

3.3.1 什么叫太阳质子事件 |57

3.3.2 十大质子事件 |58

### 3.4 怎样衡量太阳发怒的程度 |59

3.4.1 太阳辐射暴指数 |59

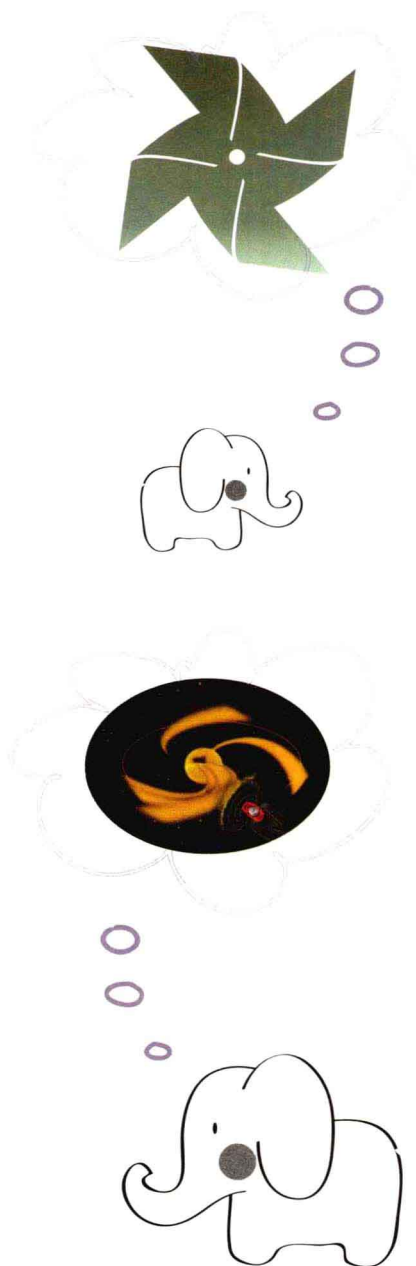
3.4.2 无线电中断指数 |60

### 3.5 影响全球的十月风暴 |61

3.5.1 突如其来的风暴 |61

3.5.2 风暴发展的序列 |63

3.5.3 对高科技系统的效应 |68



# 目录 | CONTENTS

## 3.6 太阳爆发与“2012” | 78

3.6.1 “2012”说了些什么 | 78

3.6.2 什么是太阳中微子 | 78

3.6.3 玛雅历法是怎么回事 | 79

## 第4章 太阳周期性活动 | 82

### 4.1 太阳黑子周期 | 83

4.1.1 太阳活动与太阳黑子数 | 83

4.1.2 黑子的变化规律 | 84

### 4.2 太阳黑子周期与爆发性活动的关系 | 87

4.2.1 太阳黑子周期与日冕物质抛射 | 88

4.2.2 黑子周与耀斑 | 88

4.2.3 黑子周与太阳质子事件 | 89

## 第5章 太阳风与日球 | 92

### 5.1 太阳风 | 93

5.1.1 快于台风几万倍 | 93

5.1.2 能将磁场吹变形 | 96

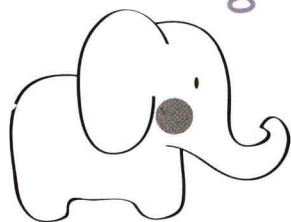
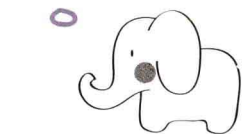
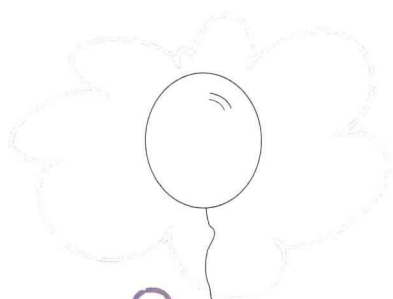
### 5.2 日球 | 98

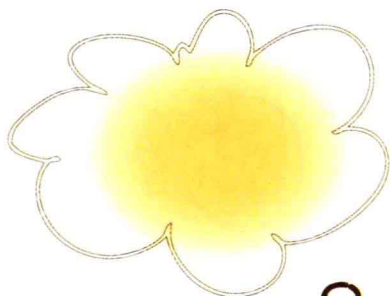
5.2.1 太阳风能刮多远 | 98

5.2.2 包围太阳风的球 | 99

## 第6章 太阳活动与地球空间 | 102

### 6.1 什么是地球空间 | 103





- 6.1.1 地球空间的范围 |103
- 6.1.2 太阳影响地球空间的途径 |104

## 6.2 爆发性活动对地球空间的影响 |105

- 6.2.1 影响的时间序列 |105
- 6.2.2 电离层突然骚扰 |106
- 6.2.3 太阳风触发磁暴 |111
- 6.2.4 亚暴及其效应 |113
- 6.2.5 质子事件的效应 |115

## 6.3 太阳周期活动与地球气候 |116

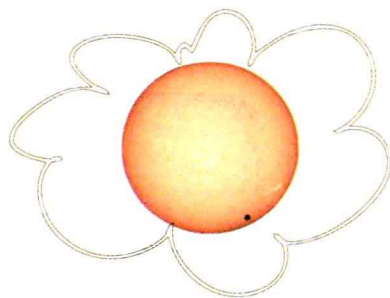
- 6.3.1 黑子活动周与太阳的辐射 |116
- 6.3.2 太阳活动与地球气候变化 |117

## 6.4 太阳周期活动与地磁变化 |120

- 6.4.1 周期活动与地磁长期变化相关 |120
- 6.4.2 太阳活动与磁暴 |122

## 6.5 太阳活动与地球空间的形态 |123

- 6.5.1 太阳温柔时的地球空间 |123
- 6.5.2 太阳轻怒时的地球空间 |125
- 6.5.3 太阳震怒时的地球空间 |126



# 第7章 从太空观测太阳 |128

## 7.1 太阳观测的历史和现状 |129

- 7.1.1 太阳观测的历史 |129
- 7.1.2 太阳观测卫星的类型 |130



# 目录 | CONTENTS

## 7.2 典型的太阳观测卫星 |131

7.2.1 SOHO 飞船 |131

7.2.2 日地关系天文台 |133

7.2.3 太阳动力学观测台 |135

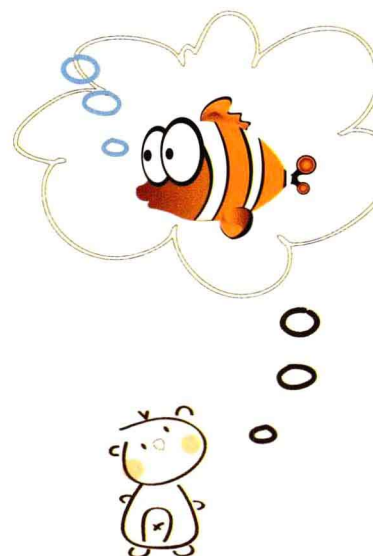
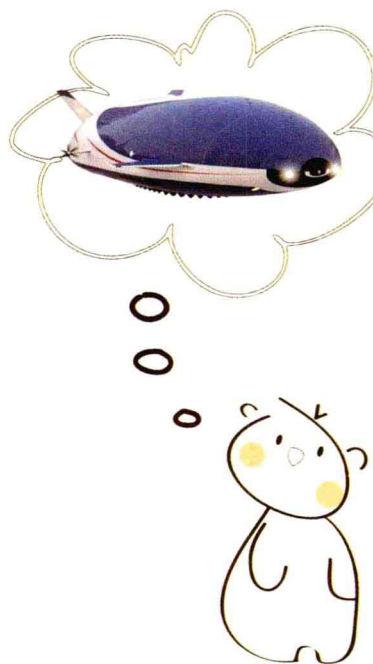
## 7.3 未来的太阳观测 |138

7.3.1 太阳哨兵 |138

7.3.2 太阳轨道器 |141

7.3.3 太阳探测器 |144

附：艺术世界的太阳 |148





## 1.1 壮观的表面

### 1.1.1 诗情画意的太阳

太阳给地球带来光和热，是维持地球上一切生命的源泉。如果没有太阳，地球温度只有星际空间的平衡温度，大约是  $-270^{\circ}\text{C}$ 。地球大气的循环、昼夜与四季的轮替、地球冷暖的变化都是太阳作用的结果。因此，自古以来人们就关注太阳。

太阳是我们再熟悉不过的天体了，即使不用望远镜，都可以清楚地看到它的轮廓。在中国古代诗词中，有许多是与太阳有关的，诗人从不同的侧面，给出人们对太阳的不同感受：“锄禾日当午，汗滴禾下土”描述的是炎热；“日照香炉生紫烟，遥看瀑布挂前川”显示的是神奇；“接天莲叶无穷碧，映日荷花别样红”充满着热烈；“白日依山尽，黄河入海流”显示了壮观；“千里黄

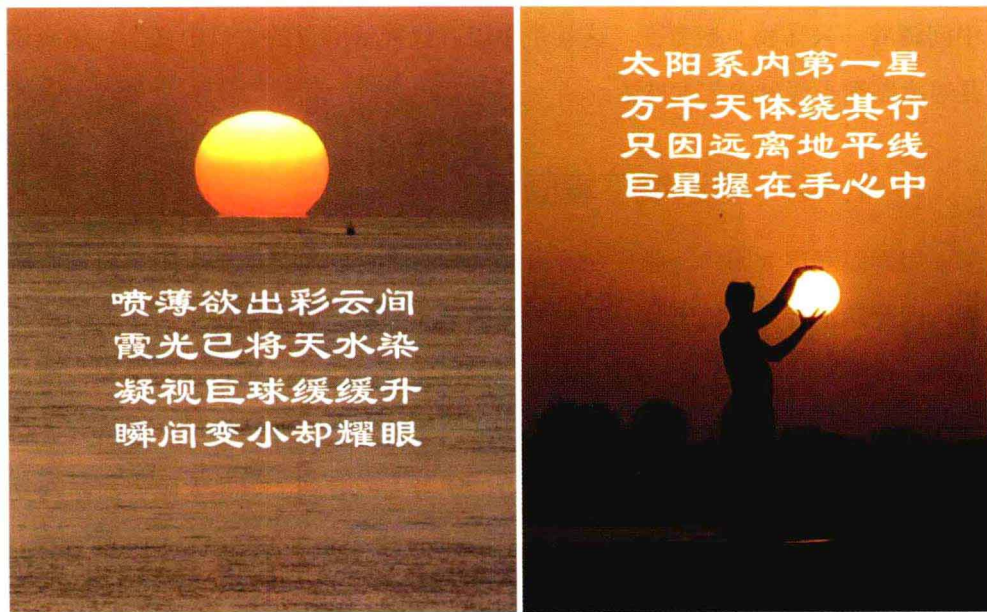


图 1-1 正在升起的太阳



云白日曛，北风吹雁雪纷纷”衬托着迷茫；“夕阳无限好，只是近黄昏”表达了深沉；“返景入深林，复照青苔上”则是一番宁静的情景。

不过，由于太阳明亮刺眼，我们能够“注视”一会儿太阳，也往往是在日出或日落的短暂时间内。因此，从古至今，描写太阳的诗词和文章，也大多集中于日出与日落。此时此刻，太阳也确实别有特色。清晨，“日出江花红胜火”；傍晚，“西窗红到月来时”。图 1-1 给出的图像，展示了喷薄欲出和已经升起的太阳。

用肉眼不仅能看到太阳的气势磅礴，细心的古人还看到了太阳黑子。中国古代汉字中用⊙代表太阳，表明中国很早以前就已看到了太阳黑子。《汉书·五行志》中记载了人类最早的黑子记录：“日出黄，有黑气大如钱，居日中央。”这是公元前 28 年 5 月 10 日的太阳黑子记录，是中国史书中的第一条黑子记录。中国哲学著作《周易》中有“日中见斗”、“日中见沫”的记载，说的可能就是太阳黑子。1972 年长沙马王堆一号汉墓中出土的帛画上方，画着一轮红日，中间蹲着一只乌鸦。据考证，这就是中国古代神话所说的“日中乌”。这应该是对太阳黑子现象的艺术描述。

### ✦ 1.1.2 望远镜下真面目

用肉眼观察太阳，一般只在日出或黄昏时进行，而且由于太阳表面如此明亮，因此除了较大的黑子外，其他结构都无法分辨。望远镜诞生后，人们将其作为一种重要的观测工具。但同样是因太阳表面温度太高，所以在可见光范围，除了黑子外，也无法辨别太阳的表面特征，更谈不上内部结构了。随着人类科学技术的发展，逐渐在多波段观测太阳，使得人们看到了炽热太阳表面错综复杂的结构，看清了“太阳公公”的真面目。图 1-2 是由多波段获得的太阳图像；图 1-3 是获得这些图像的卫星之一——SOHO 飞船。

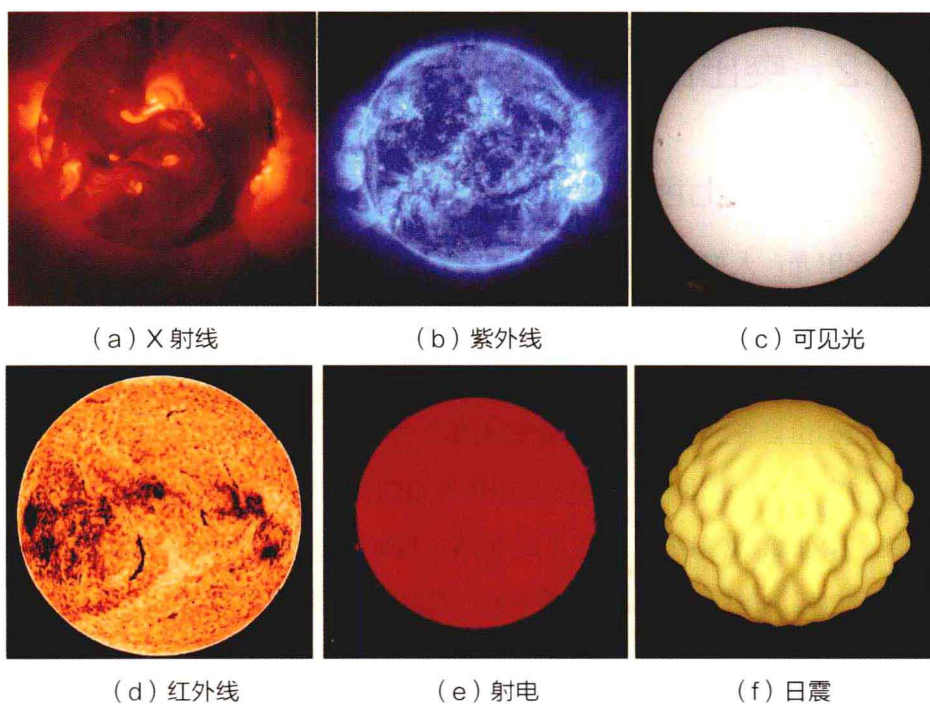


图 1-2 太阳的多波段图像

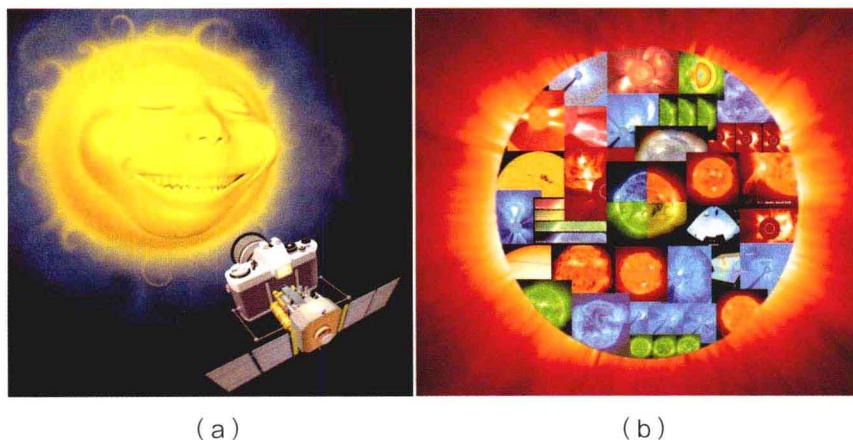


图 1-3 观看“太阳公公”的 SOHO 飞船及其观测结果

从卫星图像中我们可以清楚地看到太阳表面的复杂结构，至于这些结构的物理含义，我们将在后面的章节中陆续介绍。



## 1.2 突出的特征



### 1.2.1 七色光大家族

提起阳光，人们自然想到七色光——赤、橙、黄、绿、青、蓝、紫，但这些光只是人们用肉眼可辨别出的那部分阳光，而且是其中的一小部分。

太阳是距离地球最近的一颗恒星，所谓恒星，是指由炽热的气体组成，能自己发光、由自身引力维持在一起的天体。太阳发出的能量有两种形式，即电磁波和带电粒子，主体是电磁波。太阳所发出的电磁波包括无线电波、红外线、可见光、紫外线、X射线和伽马（ $\gamma$ ）射线，构成了各种频率和波长的电磁波谱。

图 1-4 是电磁波谱图，范围从无线电波一直到  $\gamma$  射线。

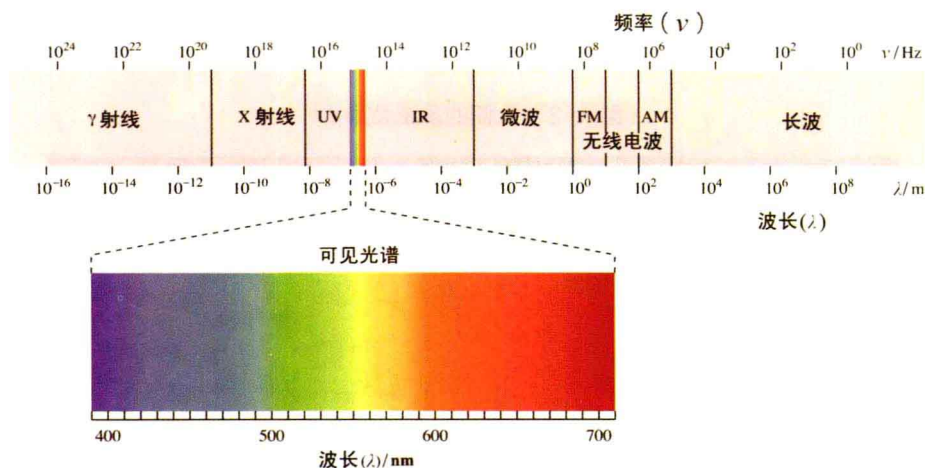


图 1-4 电磁波谱

频率越高，波长越短。如果波长用米来表示，在短波波段，用这个单位就很不方便。X射线、 $\gamma$ 射线和紫外线用纳米（nm）比较方便， $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ 。红外线和可见光用微米（ $\mu\text{m}$ ）和纳米较方便， $1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$ 。对于太阳发出的微波、无线电波和长波，一般用厘米和米来表示，比较关注的是厘米波段，如在描述太



阳周期变化时，就用 10.7cm 射电辐射的通量表示。在历史上，光的波长曾经用“埃”来表示，其符号是 Å， $1\text{Å}=10^{-10}\text{m}$ 。

从波长范围来说，可见光谱虽然只有 300nm 宽，但对人类和地球上的所有其他生命来说却是太重要了。

太阳电磁辐射的短波长范围包括紫外线、X 射线和  $\gamma$  射线。对这些词我们并不陌生。夏天，爱美的女孩最怕紫外线照射了，因为会使皮肤变黑；X 射线和  $\gamma$  射线更令人生畏，医院里透视不就是用 X 射线吗？透视室包裹严密，生怕 X 射线漏出室外，那太阳发出的 X 射线怎么防呢？还有更令人害怕的  $\gamma$  射线，听说原子弹爆炸时就产生这种射线。不过不用担心，因为这种波长极短的太阳辐射都被大气层吸收了，到不了地面，但对大气层的形态和变化有显著的影响。

在太阳电磁辐射的长波波段，依次为红外线、微波、无线电波和长波。红外辐射能对物体加热，日常生活中的红外烤箱，就是用红外线对食品加热的。太阳的红外线同样会给大气层和地球表面带来热量；地球表面被加热后，还会以红外线的形式向空中发射热量，如果这部分热量被地球大气层的某些成分吸收或阻挡了，使热量不至于传到更远的空间，我们就说发生了“温室效应”。至于太阳发出的更长波段的辐射，对地球周围空间环境基本没有影响。

图 1-5 是太阳辐射能谱，也就是不同波长辐射能量的多少，这是在地球大气层顶或海平面所测量到的。可见光虽然只占整个光谱的很小一部分，但所携带的能量已达总辐射能的 44%。红外谱段携带的能量占 47%，短波辐射的能量只占很少的部分。太阳的可见光波段辐射还有一个特点，那就是输出稳定，在 11 年的时间内变化量也只有 1/1000 左右。

图 1-5 还显示了一些吸收带。吸收带是指太阳辐射穿过地球大气层时，被大气吸收严重的波段。主要有水汽吸收带、氧气吸收带、二氧化碳吸收带和臭氧吸收带（在紫外波段）。

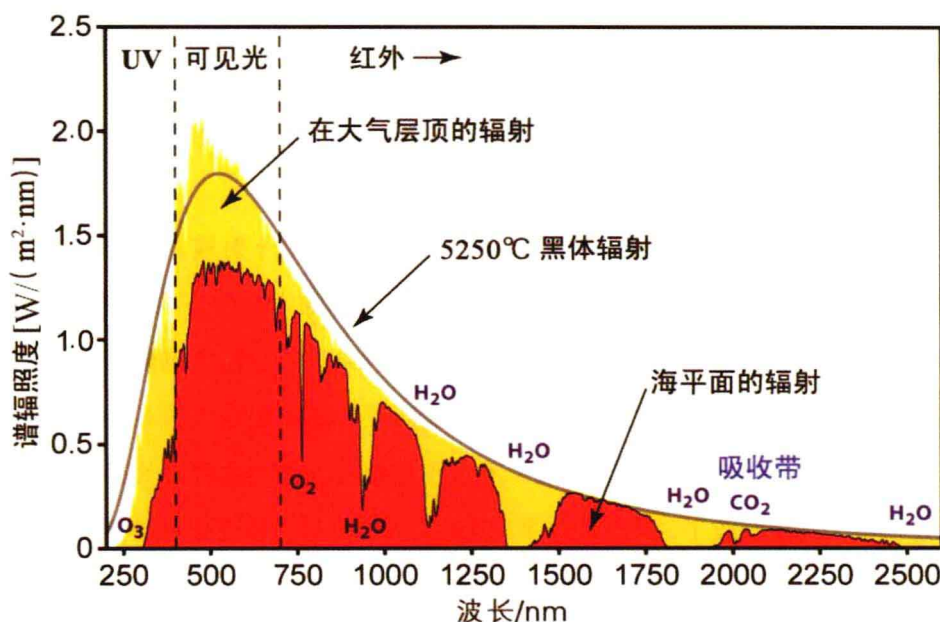


图 1-5 太阳辐射能谱

太阳常数定义为在地球大气外面测量到的、在单位面积 ( $\text{m}^2$ ) 上单位时间所接收到的太阳总辐射能, 当前的测量值为  $1.37\text{kW}/\text{m}^2$ 。由此推算, 地球每年从太阳接收到的能量为  $5.5 \times 10^{34}\text{J}$ , 相当于人类所有能源全年总产量的 27000 倍。

## ✦ 1.2.2 短波长大变化

短波辐射的能量在太阳总辐射能量中只占很小的一部分, 但这部分能量变化最大, 特别是紫外线和 X 射线辐射, 当太阳发生爆发性活动时, 输出量可比平静时期增加几十倍甚至上百倍。由于紫外线和 X 射线辐射对地球电离层的状态有直接的影响, 而电离层状态的变化又直接影响无线电通信、卫星导航与定位, 因此, 在研究太阳活动时, 都特别关注短波辐射的变化。



## 1.3 位置与数字

### ✦ 1.3.1 在银河系中的位置

离太阳最近的恒星是半人马星座的比邻星（Proxima Centauri），距离地球 4.28 光年（1 光年为光在一年时间内所走过的距离）。整个太阳系连同夜间可见的恒星都围绕银河系的中心运动。

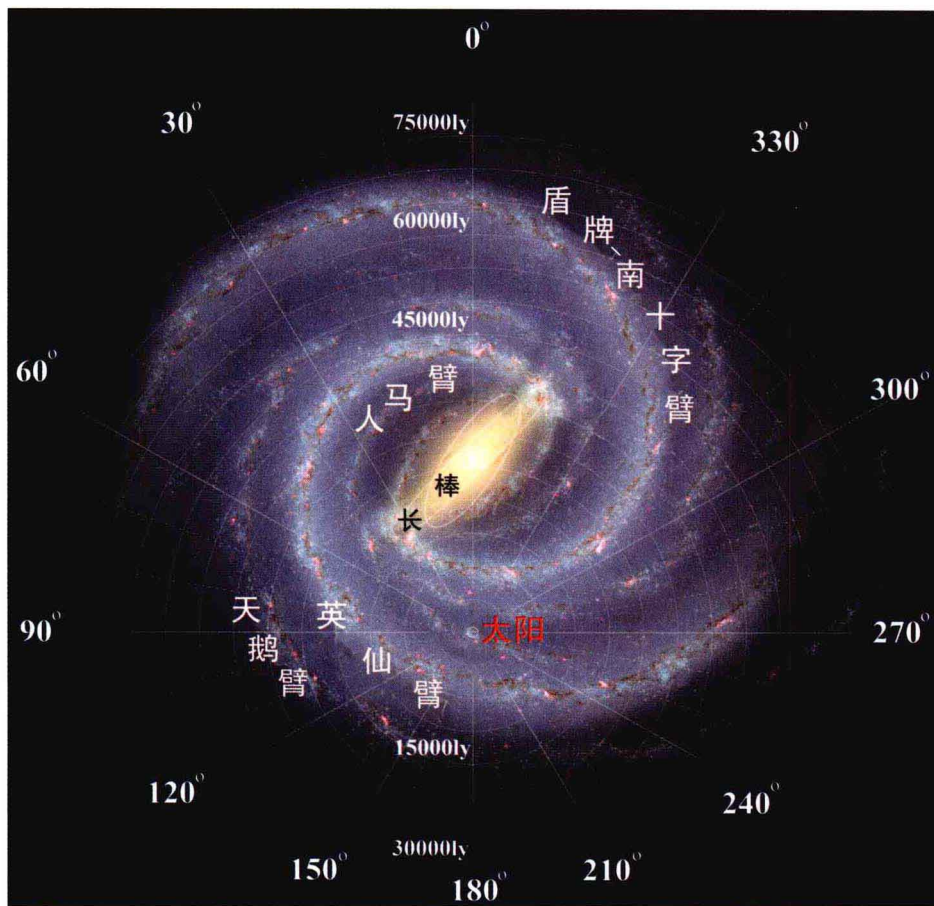


图 1-6 银河系的结构及太阳的位置