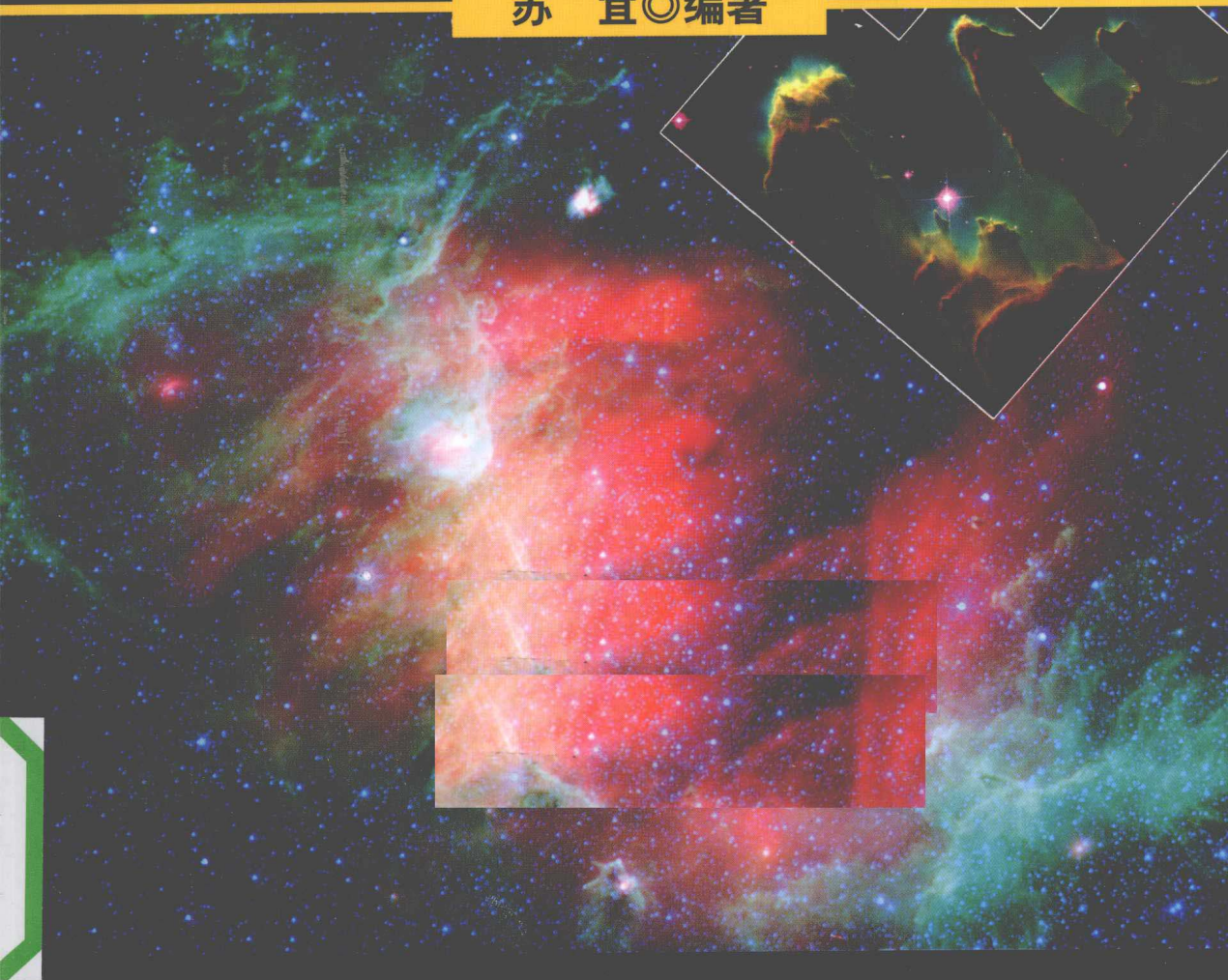




国家级教学团队·科学素质教育丛书

文科天文

苏 宜◎编著



科学出版社
www.sciencep.com

國家圖書館藏 臺灣省立圖書館藏

文科天文

天文學與文學



國立中山大學圖書館
National Sun Yat-sen University Library

国家级教学团队·科学素质教育丛书

文科天文

苏 宜 编著
苏朝晖 光盘制作

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书图文并茂、由浅入深地引导读者用科学的眼光审视日月星辰和宇宙时空,帮助读者提升认知能力,更好地思索如何把个人心灵与人类社会、广阔自然融为一体,实现自己的人生价值。

本书没有任何数学或物理公式,却有 900 余幅精彩的图片载于随书赠送的光盘中。点击光盘上的每一幅图片与本书对照阅读,就如徜徉在神秘而和谐的宇宙世界里。

本书可作为高等院校天文选修课的教材,特别适合文科学生使用;也可供社会各界人士为了解当代天文学前沿、享受最新天文探测成果而阅读。

图书在版编目(CIP)数据

文科天文/苏宜编著. —北京:科学出版社,2010

国家级教学团队·科学素质教育丛书

ISBN 978-7-03-027817-3

I. ①文… II. ①苏… III. ①天文学-基本知识 IV. ①P1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 101024 号

责任编辑:李鹏奇 王 静 杨 然 / 责任校对:李奕莹

责任印制:张克忠 / 封面设计:无极书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏 杰 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 6 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010 年 6 月第一次印刷 印张:18

印数:1—4 000

字数:363 000

定价: 32.00 元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

2007年9月4日,《人民日报》文艺副刊发表了温家宝总理的《仰望星空》诗作:

我仰望星空,它是那样寥廓而深邃;

那无穷的真理,让我苦苦地求索、追随。

我仰望星空,它是那样庄严而圣洁;

那凛然的正义,让我充满热爱、感到敬畏。

我仰望星空,它是那样自由而宁静;

那博大的胸怀,让我的心灵栖息、依偎。

我仰望星空,它是那样壮丽而光辉;

那永恒的炽热,让我心中燃起希望的烈焰、响起春雷。

1921年10月,29岁的郭沫若谱写了《天上的街市》:“远远的街灯明了,好像闪着无数的明星。天上的明星现了,好像点着无数的街灯。……你看,那浅浅的天河,定然是不甚宽广。那隔着河的牛郎织女,定能够骑着牛儿来往。我想他们此刻,定然在天街闲游。不信,请看那朵流星,是他们提着灯笼在走。”

1788年,64岁的德国著名哲学家康德在他的名著《实践理性批判》中也有一段关于星空的名言:“世界上有两件东西能够深深地震撼人们的心灵,一件是我们心中崇高的道德准则,另一件是我们头顶上灿烂的星空。”这是哲学家生前的座右铭,被镌刻在哲人身后的墓碑上。

政治家、哲学家、诗人、……对星空隽永的笔触,寄意深远,令人遐思。

每一个平凡的人,也都有过对星空的注目和憧憬。当黄昏送走天边最后一抹晚霞,如果天气晴朗,没有楼宇的遮挡和灯光的干扰,璀璨的星空就会呈现在你的面前。也许,你的儿时,曾经躺在妈妈的臂弯里,遥望那些眨着眼睛、像宝石一样闪烁着光芒的小星星,试图琢磨它们的究竟;也许,你曾经在凉风习习的夏夜,听老人们讲述牛郎织女的故事,眷顾着银河岸边那两颗亮星,浮想联翩。上学了,你每天背着沉沉的书包,学过一门又一门功课,再没有闲空去追寻关于星星的学问了。可是,那耀眼的太阳,皎洁的月亮,闪烁的恒星,迷蒙的银河,长尾巴的彗星,飘落夜空的流星雨,……这些神秘而遥远的天体并没有从你的脑海中泯灭,因为探索宇宙是人类永恒的欲望。

当代自然科学有六大基础学科:数学、物理学、化学、天文学、地球科学、生命科学。天文学研究天体和宇宙,既是人类最古老的,也是当代最活跃的自然科学之一。爱因斯坦说过:“在牛顿那个时代,物理学像天文学的小妹妹一样随之发展,

而生物学则又是像物理学的小妹妹一样也随之发展。”当人类进入 21 世纪的时候，天文学正面临着有史以来第二次飞跃发展的时代。人类将要探知更多的宇宙秘密：远溯往古，追寻星系的起源和宇宙怎样创生；展望未来，预知银河的归宿和宇宙如何终结。

人类将重返月球，登陆火星，建立月球上的天文观测基地，了解火星是否曾经拥有生命，在木星和土星的几颗卫星上是否有低级的原始生命存活。人类将建造口径 100 米级的地面光学望远镜，口径 1 000 米级的地面射电望远镜；将把口径 8 米级的光学望远镜发射到比月亮还要远 4 倍、绕太阳公转的空间轨道上。我们不甘心地地球人没有知音的孤独地位，将努力探寻同地球一样的行星，呼唤地外文明，争取与外星人建立通信联络；还将悉心守护自身和家园的安全，把所有可能撞击地球的太阳系小天体全部纳入监控系统之中。当代天文学研究处于人类探索自然的前沿地带。人类的生存与活动，已从陆地走向海洋，进入大气层，如今正向第四环境——外层空间发展。如果对天体和宇宙当中的事情一无所知，便不能算是一个知识全面的人。

人生于世，转瞬百年。芸芸众生，沧桑多变，世态炎凉。唯有遥远的天体，给人以恬静、永恒的感觉。昭如日月，灿若明星，历来是文学艺术讴歌的对象、精神领域崇高的寄托。仰望星空，无论是几十年前还是几十年后，无论你身在地球上什么地方，灿烂的群星总以它那无比的庄严和静谧，向你展示着神秘而和谐的宇宙图景，使你心驰神往，无限遐思，心灵得到净化。天文学的基本知识，对于当代追求高尚知识素养的人，无论其从事何种职业，都是值得学习的。

南开大学自 1993 年开始对全校文理科学生开设天文学选修课，以后又扩大至天津大学、天津泰达学院、天津滨海学院。1993~2009 年，历时 16 年，32 个学期，选修过天文课的学生人数已达 20 446 人。上课所用的教材《天文学新概论》，虽已出 4 版，8 次印刷，深受学生和教师的欢迎，但因篇幅较长，内容偏理，文史、经济、艺术类学生感觉过深。文理混班的“天文学概论”课，因不能准确针对学生特点而有所欠缺。

文科生选修天文学课程，与理科生有所不同。他们的感悟和追求是：天文奥秘中蕴含着的人类思想的美丽，美在自然和谐，美在理性之光；理解星语，品位内涵，悟出做人的道理，拥有净化的心灵；寥廓的宇宙、浩瀚的星空使人感到人生之短暂、个人之渺小，明白了什么才是生命的真正价值。据《新千年美国国家研究理事会研究报告》称：“在美国，天文学在大学教育里起着非常积极的促进作用，很明显地吸引着许多大学生。天文学为公众认识人类在宇宙中的地位和科学的本质提供了窗口。每年有超过 20 万大学生选修天文课程，对于他们之中的很多人（应指文科生-苏宜注），天文是学习过的唯一科学课程。”南开大学尝试着为文科生单独开设天文选修课，已历时 3 年，受到文科学生的好评，选课人数与理科班大体相等。文科班所用的教材就是这本《文科天文》。

《文科天文》是一本图文并茂的教材，由近及远、由浅入深地引导你用科学的眼光审视来自日月星辰的最新知识，化解你久已埋藏心底的关于天体和宇宙的种种困惑。也许，它还会激发你的灵感，提升你的科学认知能力，使你更好地思索人生、社会及国家和人类的前途，更加热爱科学、热爱生活，把个人心灵与人类社会、与广阔自然融为一体，实现自己的人生价值。

本书没有任何数学或物理公式，只有文字、900余幅图片和一些表格，特别适合大学非理工科专业开设天文选修课使用，也适合社会各界人士为了解当代天文学前沿、享受最新天文探测成果而阅读。全部精美的彩色图片都载于随书发行的光盘中。点击光盘上的每一幅图片与本书对照阅读，你将徜徉在神秘而和谐的星星世界里。

光盘中所有天体的真实照片都来自世界各大天文台的网站，特别是当代著名的三大空间天文望远镜的网站——美国 NASA 的哈勃光学空间望远镜、钱德拉 X 射线空间望远镜和斯必泽红外空间望远镜的网站。每张照片上都尽量保存着发布该照片时的来源信息。书末附有天体照片来源的望远镜表，包括空间望远镜和地面望远镜两部分。这些望远镜自身的照片也一一录制在光盘中。这些望远镜代表着当前人类探索宇宙的最高水平。它们提供的信息，使天文学家们更深入地认识了神秘而和谐的宇宙；也使普通读者得以欣赏和赞叹天体的宏伟和美丽，同时获得知识的提高和理性的升华。让我们对制造这些望远镜和提供这些照片的专业人士表示深深的敬意和感激。采集、编选、技术处理这些照片使之与文字相匹配，最后制成光盘，是完成本书的重头工作，全部由天津科技馆的苏朝晖工程师承当，在此向他致以由衷的谢意。诚挚地欢迎天文界的专家、学者和每一位读者朋友对本书不当之处提出宝贵意见。

苏 宜

2009 年 11 月于南开园

封面图片为巨蛇座鹰状星云 M16 的红外图象，恒星“宝宝”们正在从那里诞生，详见正文 122 页。

目 录

前言

第 1 章 地球和月亮	1
1.1 地球是太阳系中唯一适宜生命繁衍的星球	1
1.2 地球的自转和公转	4
1.3 太阳周年视运动和四季星空的变化	8
1.4 地球的形体、年龄和内部结构	13
1.5 月球	17
1.6 月相变化	20
1.7 月面上的星空	25
1.8 宇航时代的月球探测	27
第 2 章 太阳和太阳系	32
2.1 万物生长靠太阳	32
2.2 太阳是能源也是扰动源	34
2.3 八大行星	36
2.4 行星的真实运动	42
2.5 行星的视运动	46
2.6 日食和月食	51
2.7 太阳系小天体	60
2.8 太阳系的物质分布	71
第 3 章 恒星	74
3.1 灿烂的星空	74
3.2 恒星的亮度	78
3.3 恒星的光谱	81
3.4 恒星的位置和运动	84
3.5 主星序	87
3.6 双星	90
3.7 不稳定恒星	94
第 4 章 银河系	101
4.1 银河——奶之路	101
4.2 银河系中的瑰宝——弥漫星云	103
4.3 星团	106

4.4	银河系的结构	109
4.5	旋臂与银河系自转	111
第5章	银河系天体的演化	114
5.1	恒星的能源	114
5.2	中微子失踪悬案	116
5.3	星云孕育恒星	119
5.4	恒星化作星云	123
5.5	恒星演化的最后结局	131
第6章	星系世界	137
6.1	宇宙岛之争	137
6.2	星系的分类	139
6.3	星系红移和哈勃常数	143
6.4	星系群、星系团和超星系团	145
6.5	活动星系	150
6.6	类星体	156
第7章	黑洞	161
7.1	黑洞的数学模型	161
7.2	黑洞的物理机制	163
7.3	黑洞的奇妙性质	164
7.4	黑洞的天文探测	170
7.5	巨型黑洞、微型黑洞和中等质量黑洞	174
7.6	宇宙深处的 γ 射线暴	178
7.7	引力透镜	182
7.8	黑洞奇点、白洞和虫洞	185
第8章	地外文明	189
8.1	生命的含义与生命起源概述	189
8.2	地外生命存在的科学依据	191
8.3	地外文明探索的艰巨性	195
8.4	太阳系外的行星探测	197
8.5	与外星人的通信联络	203
8.6	关于 UFO 现象	206
第9章	宇宙的创生和终结	208
9.1	牛顿的静态宇宙观	208
9.2	爱因斯坦的有限无界宇宙模型	210
9.3	伽莫夫的大爆炸宇宙论	213
9.4	标准宇宙模型	215

9.5 宇宙早期的暴胀模型	220
9.6 21 世纪的两朵乌云——暗物质和暗能量	223
9.7 奇点问题	229
第 10 章 中国古文献中的天文知识	233
10.1 三代以上人人皆知天文	233
10.2 天帝巡天驾北斗	235
10.3 二十八宿统州域	236
10.4 日月星辰纪岁月	238
10.5 古代和当代的岁星-太岁图	241
10.6 五星行止兆吉凶	243
10.7 诗词歌赋涉天文	245
10.8 中国农历源远流长	249
参考文献	252
附录	253
附录 1 星座表	253
附录 2 北半球中纬度地区可见的主要星座	255
附录 3 中国古代的星空划分	256
附录 4 古代中国的岁名、十二次等和西方古代的黄道 12 宫	256
附录 5 部分亮星的中国星名	256
附录 6 最亮的 21 颗恒星	258
附录 7 梅西叶天体表	259
附录 8 八大行星表	262
附录 9 星座简图	263
附录 10 图片来源的空间望远镜表 (图见光盘)	271
附录 11 图片来源的地面望远镜表 (图见光盘)	271
代后记	272

光 盘 内 容

光盘图 931 幅

配书彩图

图片来源的望远镜图

星座详图

第1章 地球和月亮

1.1 地球是太阳系中唯一适宜生命繁衍的星球

地球是一个大球，全世界所有的人都生活在这个球的表面上（图 1.1.1）。地球的引力牢牢地吸引着全球各处的人和物体。引力是自然界中最弱的力，却是主宰宇宙中所有天体运动和演化的最顽强的力。

从 20 世纪 50 年代开始，人类有能力克服地球的引力，飞向茫茫太空，走进天体的神秘世界。1961 年 4 月 12 日，苏联东方一号飞船宇航员加加林（Ю. А. Гагарин）成为人类进入太空的第一人（光盘图 1.1.2 进入太空第一人——前苏联宇航员加加林）。1969 年 7 月 21 日，美国阿波罗 11 号 3 名字航员中的 2 名：阿姆斯特朗（N. A. Armstrong）和阿尔德林（E. E. Aldrin）登上月球（光盘图 1.1.3 阿波罗 11 号的 3 位宇航员：阿姆斯特朗、柯林斯和阿尔德林）。2003 年 10 月 16 日，中国神舟 5 号航天员杨利伟飞出蓝天，使中国成为世界上第三个将人类送入太空的国家（光盘图 1.1.4 中国首位航天员杨利伟）。从太空看地球，地球是一个非常美丽的天体：蓝色的海洋，棕色的陆地，绿色的植被，白色的云朵（光盘图 1.1.5 阿波罗飞船拍摄的地球；光盘图 1.1.6 环境应用同步卫星拍摄的地球）。

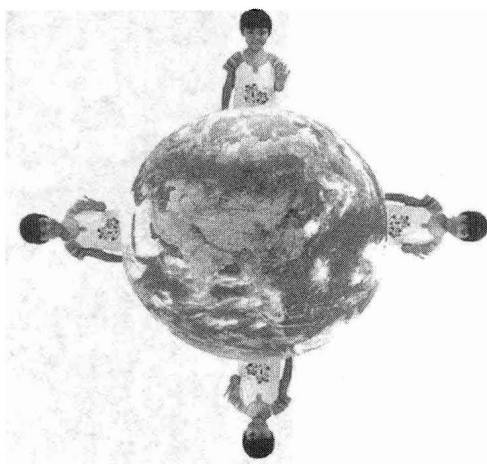


图 1.1.1 全世界所有的人都生活在地球表面上

天空和大海的湛蓝，是因为水分子和大气分子散射的主要是蓝色波段的太阳光。正因为大气分子散射太阳光，天空才显得不仅湛蓝而且靓丽，时有云蒸霞蔚，雨后彩虹。别的星球不一定都有这样的条件。如月球，它没有大气层。月球上的天空，即使大白天也是漆黑的，所有的天体都在漆黑的天空背景上发光；金星的天空永远浓云密布；火星表面沙尘暴常年不息。

地球直径有 1.2 万多千米，而近地面的稠密大气层，高度只有 8~18 千米，叫做对流层（图 1.1.7）。全部大气总质量的 90% 都在对流层中；所有风雨雷电等天气现象也都只发生在对流层中。对流层以上至约 50 千米叫平流层。大型民航客机

常在对流层以上的平流层底部飞行，从舷窗往外看，上面永远是蓝色的晴空，云彩都在底下，因此气流平稳，使乘客感到舒适。阻挡大部分太阳紫外线的臭氧层在较高的平流层中。平流层以上叫电离层，电离层又细分为中层和热层。地面上看到的流星，是外层空间中的细小砂粒、石块，在地球引力的作用下，飞落地面，在中层大气中激发大气分子而发光，同时自身也被烧毁，流光一闪，转瞬即逝。在地球南北两极地区能欣赏到的美丽的极光是发生在更高的热层大气里。热层的大气密度已经非常稀薄，热层之外就是外太空了。

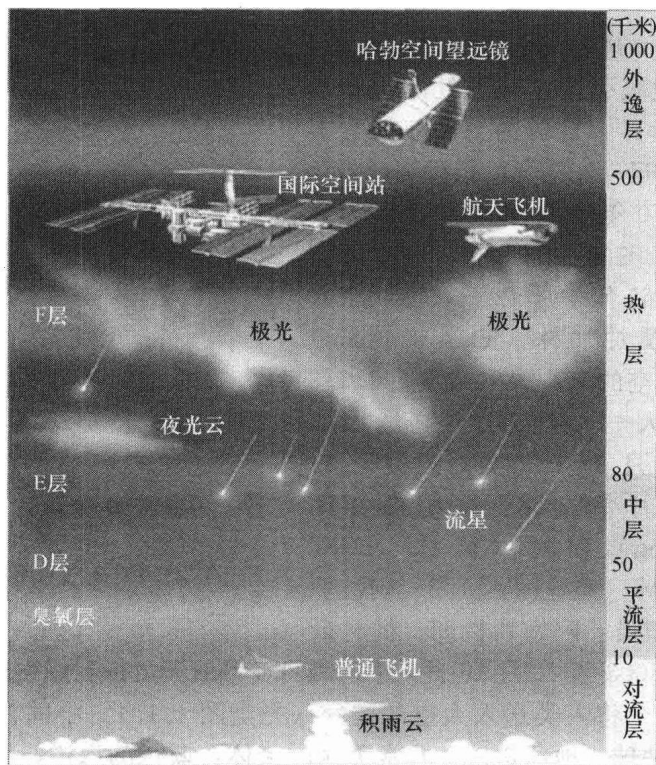


图 1.1.7 地球的大气层

整个大气层对地球而言，只是薄薄的一层。如果把地球画成直径 12 厘米的圆，对流层大气只有 0.1 毫米厚，5 毫米之外就是外太空。从那里直接沧溟，连通着广阔无垠的宇宙。宇宙中分布着不计其数的各种天体。茫茫太空中的地球，只有月球做它的伴侣，其他天体都在更加遥远之处（光盘图 1.1.8 茫茫太空中，只有月球做地球的伴侣）。

到 20 世纪 60 年代，人类的足迹已经踏上月球。80 年代人类用以采集信息的仪器设备已经在火星和金星表面实现软着陆。人类发射的探测器已经拜访过所有八大行星的临近区域。得到的结论是：太阳系中除地球以外的星球上，都没有高级生

命存在，地球是唯一适宜生命繁衍的星球。之所以如此，是因为地球在太阳系中具有得天独厚的优越条件。

1. 优越的行星位置

优越的行星位置是地球适合生命繁衍的首要条件（表 1.1.1）。八大行星中，按离太阳远近的顺序排行，地球是老三，距离太阳 1.5 亿千米，得到的太阳辐射能量适中，加上有大气层保护，大气中二氧化碳的含量不到 1%，有较弱的温室效应，所以地球上年平均温度为 15℃左右，最适宜生命繁衍。所谓温室效应是指大气中的二氧化碳能透过太阳辐射来的可见光，但不能透过地面反射回太空的红外辐射，地表热量不能散发到大气层外面而使地表升温的效应，类似温室里的情形。

表 1.1.1 地球与相邻行星的比较

相邻行星	排行	到太阳的距离/ 亿千米	太阳辐照功率/ (千瓦/米 ²)	大气中 CO ₂ 含量/%	温室效应	表面平均 温度/℃
金星	2	1.1	2.6	97	极强	480
地球	3	1.5	1.4	<1	很弱	15
火星	4	2.3	0.6	95	较强	-60

地球的前后邻居：位居老二的金星，离太阳 1.1 亿千米，得到的太阳辐射能量比地球多，再加上大气中有 97%的二氧化碳，温室效应极其严重，年平均温度高达 480℃（光盘图 1.1.9 炼狱般的金星）；火星老四，离太阳 2.3 亿千米，得到的太阳辐射能量比地球少，虽然也有较强的温室效应，年平均温度却只有一60℃。金星和火星的表面温度显然不适合任何生命的繁衍。别的行星，离太阳不是更近就是更远，因而不是更热就是更冷，当然更不适合生命繁衍了（光盘图 1.1.10 干燥荒凉的火星）。

2. 优越的物理状况

大小适当的地球引力，保住了足够浓密的大气层。地球大气的成分，76%是氮，23%是氧，有少量的水蒸气和二氧化碳，近地面大气层的平均密度是 1.22 千克/米³。大气不仅为所有生物提供生存和呼吸的条件，大气层还像一床温暖的棉被，在没有阳光照耀的时候，保护地面不至于太冷。白天，大气分子吸饱了太阳的热量，夜晚再把它们释放出来，调节着地球表面的温度。大气层还能阻挡太阳紫外线、X 射线、γ 射线这些对生命有害的射线，阻挡流星对地面的直接轰击，保护着地球生命的安全。引力太弱，大气分子会跑掉；引力太强，一切物体都将增加体重，使人不堪重负（光盘图 1.1.11 臭氧层挡住了大部分太阳紫外线）。由地球磁场形成的磁层阻挡着高能太阳风和宇宙线粒子，使地球上的生命免遭杀戮（详见 2.2 节）。

地球表面 70% 是水, 30% 是陆地, 总储水量 140 亿亿米³。液态水是养育一切生命不可缺少的基本条件。大海不仅是生命的摇篮, 也是所有海洋生物和陆上生物的重要依托。辽阔的大海是地球表面大规模水循环的源泉和归宿。太阳蒸发海水, 水汽升上蓝天, 兴云布雨, 降落地面, 再汇成江河, 流归大海。每年约有 500 亿吨的水在海空之间循环运动。没有这种循环运动, 便会江河断流、湖泊干涸, 大陆上的所有生命都将荡然无存, 地球成为死寂的世界。循环运动的主体是地球上的水, 但提供循环运动动力的却是天上的太阳。

3. 恰到好处的自转和公转

地球自转, 24 小时转一圈, 不仅造成昼夜交替的变化, 也是使全球各处保持温度均衡的重要原因。就像在炉火上烘烤食物必须及时翻转一样, 地球在太阳这只大火炉面前, 也必须时时翻动自己的身躯, 才能获得均匀的热量。水星自转太慢, 一昼夜长达 176 个地球日, 所以在水星上, 白天热到 427℃, 夜晚冷到零下 175℃。木星自转太快, 一昼夜只有 9 小时, 木星上的一年竟然有一万多个昼夜; 而在地球上, 人生百年, 也仅活过 3 万 6 千多个昼夜。

地球在自转的同时, 还在椭圆轨道上绕太阳公转, 转一圈就是一年。在公转过程中, 地球自转轴倾斜着, 但不改变方向。这是造成地球上一年四季寒来暑往和昼夜长短变化的原因。春种秋收, 寒尽春来, 地球上所有生命的节律都和地球公转有关。行星绕太阳公转的周期长短由它到太阳距离的远近决定。水星离太阳最近, 水星上的一年只有 88 个地球日, 两年才能凑上一个昼夜。最远的海王星绕太阳转一圈需要 165 个地球年。人生 80 岁, 在海王星上也就半年时光。

珍惜地球, 保护家园环境, 是全人类共同的责任。

1.2 地球的自转和公转

1.2.1 自转是一切天体基本的运动规律

地球不停的自转, 虽然速度很慢。钟表上的时针, 转动多么迟缓, 没有人能耐心观察到它的动作, 但它毕竟一天转了两圈。地球每天才转一圈。平稳而缓慢自转的地球, 没有人能感觉到它的转动。然而地球自转对于地球上的所有生灵, 却是必不可少的生存条件。

天体的自转是普遍的。太阳有自转, 太阳系所有的行星、卫星都有自转, 即使是质量很小的小行星, 也都发现有自转。银河系中的恒星, 乃至整个银河系都在自转。自转几乎是一切天体的基本运动规律。使天体自转的力, 来源于天体内部各质点受天体质心的引力。

物质世界的两个极端, 一端是质量巨大的天体, 另一端是微观领域的物质粒

子，它们都有自转。物质粒子的自转叫做自旋。基本粒子电子有自旋；由基本粒子夸克组成的质子、中子都有自旋。

1.2.2 昼夜变化的原因是地球自转

地球不会发光，地球上的光明是太阳赐予的。向着太阳的半个地球，沐浴在阳光下，人们过着白天；背着太阳的半个地球，没有阳光照射，人们过着黑夜。在古代，人们以为是金色的太阳围绕地球运转，才造成昼夜交替。现在人们知道，太阳在离地球 1.5 亿千米远的地方，基本上是不动的，而是地球不停地自转，全球各地的居民才轮流着，平均 12 小时过白天、12 小时过黑夜。地球自转是昼夜变化的原因。图 1.2.1 是北半球冬季昼夜变化的示意图。注意地球自转轴对于地球绕太阳公转的轨道平面是倾斜的。北半球冬季时，北极偏离太阳，南极偏向太阳。北半球各地，一天当中昼短夜长；南半球各地，一天当中夜短昼长。只有在赤道上才是昼夜平分的。纬度越高，昼夜长短差异越大。北极地区整天都是黑夜，而南极地区整天太阳不落。到了北半球夏季时，情况刚好相反：北极偏向太阳，南极偏离太阳。北半球各地，一天当中昼长夜短；南半球各地，一天当中昼短夜长。全球各地，年平均日照时间是一样的，都是 12 小时。

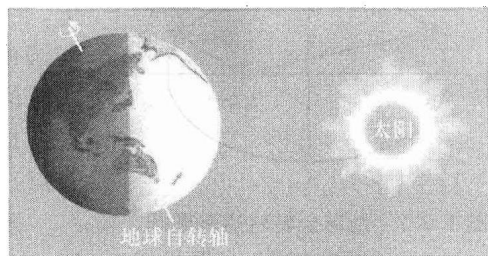


图 1.2.1 地球自转是昼夜变化的原因

如果地球不再自转，也没有公转，地球上任何地方，有太阳的，太阳固定在天上，一动不动；没有太阳的，永远是沉沉黑夜不见天日。所有生灵，何以将息？

1.2.3 四季变化的原因是地球公转加上自转轴倾斜

地球不仅有自转，还有公转。地球绕太阳沿椭圆轨道公转，每年一圈。在公转过程中，地球自转轴的空间倾斜度保持不变，始终指向北极星附近，与椭圆轨道所在平面的垂直线相交 23.5° 。

如果自转轴不倾斜，地球纵然绕太阳公转，也不会有四季的变化；尽管人们可以从斗转星移之间，测出公转的一年周期，但这一周期对地球上的生态环境将毫无意义，只有日复一日，永无变化的、单调的昼夜循环，不再给人岁序更新、寒来暑往的感受。地球公转加上自转轴倾斜才是四季变化的原因。

四季变化的主要特征是温度变化。地球表面的热量来自太阳。地球温度的高低取决于三个因素：太阳的辐射能力、太阳到地球的距离和阳光对大地入射的角度。太阳是一颗稳定的恒星，它的辐射能力不会变化；太阳到地球的距离虽有周年变化但差异甚微，不足以影响温度；唯一的影响因素是阳光入射角度的变化。

战国时代的文献《列子·汤问》中记载着一个故事：两位少年辩论太阳早晨近

还是中午近。一个说太阳早晨大中午小，应是早晨近；另一个说早晨冷中午热，太阳应是中午近。争持不下，问恰巧路过的孔子，孔子也答不上来。现在人们知道，早晨和中午，太阳到地球的距离是一样的。太阳早晨大中午小，是人眼的错觉，其实大小是一样的。早晨比中午气温低有两方面的原因：一个原因是早晨阳光斜照，中午阳光直射，单位面积上得到的能量差异很大；另一个原因是地球积蓄的热量夜间散失较多，白天又重新积蓄了。

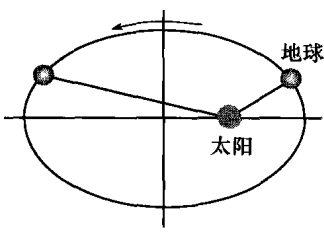


图 1.2.2 地球公转轨道是椭圆，
日地距离有周年变化

地球在椭圆轨道上运行，太阳在椭圆的焦点上，一年当中，日地距离应当有变化。但因为轨道椭圆的偏心率很小，距离变化不大（图 1.2.2）。用几何公式可以算出：远近相差最多 510 万千米，约占日地距离的 3%，而且日地最近时（地球过近日点）是在每年 1 月 4 日前后，北半球正值冬季。

四季冷暖的原因，不是太阳距离的远近，而是阳光入射角的大小。地球公转有 4 个特殊的轨道位置，中国古人早就注意到了，那就是春秋二分和冬夏二至（光盘图 1.2.3 地球公转示意图）。春分和秋分时，日地中心连线在地球赤道平面上，与地球自转轴垂直，阳光直射赤道，全球昼夜平分，南北半球得到的太阳辐射量对称、均衡，取全年平均值；冬至时，日地中心连线偏离地球赤道平面，与地球自转轴相交（ $90^\circ - 23.5^\circ = 66.5^\circ$ ），阳光直射南回归线，北半球中午太阳高度最低，昼短夜长，得到的太阳能最少，气温偏低，处于冬季，南半球中午太阳高度偏高，昼长夜短，得到的太阳能最多，气温偏高，处于夏季；夏至时，情况刚好相反，阳光直射北回归线，北半球入夏，南半球入冬。至于为什么最冷最热的时候不在冬至、夏至，而在滞后一个月左右的“三九”、“中伏”，那是因为地球表面的温度，除得自阳光照射之外，还受地表散热的影响，而地表蓄热散热，需要一个缓慢滞后的过程。

1.2.4 地球自转在地球上留下的蛛丝马迹

人们凭直觉发现不了地球自转，所以才误认为地球静止于宇宙的中心，日月星辰绕大地转动。

根据牛顿力学原理，在一个做匀速直线运动的系统里，不管运动速度有多大，任何实验都不可能测知系统是静止的还是在运动着。这样的系统称为惯性系统。

地球不是惯性系统，因为地球在宇宙空间里，不是只做匀速直线运动，它有自转和公转。但是，因为自转角速度很小，方向改变极慢。在地球系统内部几乎觉察不到它的自转。经过科学家仔细考察，才能找到一些地球自转运动的蛛丝马迹。至于公转和更高级别的绕银河系中心的转动，角速度更小，大概永远都不可能从地球本身考察其转动。

地球自转的蛛丝马迹有以下几点。

1. 地球变扁和重力变化

地球自转产生惯性离心力，力的方向垂直于地球自转轴，而不垂直于地面（图 1.2.4）。该力在垂直地面方向的分量减轻了物体的质量；水平方向的分量使一切可以流动的物体向赤道集中，导致以平均海水面为准的地球形状变扁。重力偏离地心的方向，数值小于引力。

越接近赤道，旋转半径越大，惯性离心力也越大；越接近赤道，离地心越远，引力也越小。地球两极比赤道扁了大约 43 千米。在两极重 10 千克的物体，到了赤道只有 9.947 千克，其中因离心力增加轻了 35 克，因引力变小轻了 18 克。精密的地球形状测量和重力测量，都证明了这些数据是正确的。

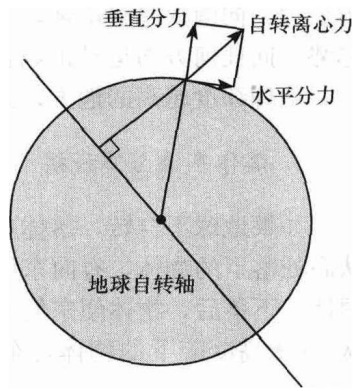


图 1.2.4 地球自转产生惯性离心力

2. 运动物体的偏转

北半球的河流右岸冲刷比左岸严重，定向行驶的双轨铁路右侧磨损较快，路轨更换勤于左侧。南半球则相反：河流左岸冲刷比右岸严重，铁路左侧磨损较快。这是因为受到一种因地球自转而引起的偏向力的作用。

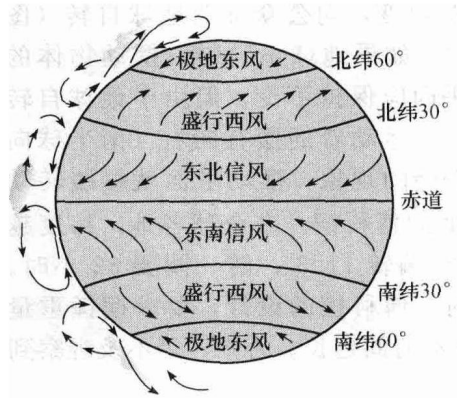


图 1.2.5 北半球信风是东北风，南半球信风是东南风

赤道与南北纬度 30° 之间，信风（也叫贸易风）产生的原因是：赤道炎热，热空气上升；高纬度地区寒冷，近地面冷空气从高纬度流向赤道。可是，北半球的信风，不是北风而是东北风，空气的流动有向右的偏转；南半球的信风不是南风而是东南风，空气的流动有向左的偏转（图 1.2.5）。这也是地球自转偏向力的作用。

惯性离心力和地球自转偏向力在惯性系统中都不是真实存在的力，而是在非惯性参考系中引入的牵连力。它们的存在，反过来证明了地球本身不是惯性系统，而是有转动加速度的系统。

地球自转偏向力也叫科里奥利力，只对运动物体才有作用，详细的推导比较复杂，这里只作定性解释如下。

地球自转自西向东。在北半球，当物体由南向北运动时，从转动速度快的地方来到速度慢的地方，因为惯性，要保持较快的速度，因而向东偏转，即向右偏转。