

宇宙 与原子

【美】唐·利希滕贝格◎著 周弘毅◎译

宇宙的浩瀚
与原子的微小
一直是人们
孜孜以求探索的目标
寻着先人的脚步
让我们离真相更近一些



中国大地出版社

宇宙与原子

[美]唐·利希滕贝格 著

周弘毅 译

中国大地出版社

· 北 京 ·

Copyright ©2007 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. All rights reserved. This book, or parts thereof, may not be reproduced in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or any information storage and retrieval system now known or to be invented, without written permission from the Publisher.

Simplified Chinese translation arranged with World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., Singapore.

图书在版编目(CIP)数据

宇宙与原子 / (美) 唐·利希滕贝格著; 周弘毅译.
—— 北京: 中国大地出版社, 2017. 2
书名原文: THE UNIVERSE AND THE ATOM
ISBN 978-7-80246-946-4

I. ①宇… II. ①唐… ②周… III. ①宇宙学—研究
②原子—研究 IV. ①P159②O562

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 289892 号

YUZHOU YU YUANZI

著 者:(美)唐·利希滕贝格 译 者:周弘毅

责任编辑:王雪静

责任校对:韦海军

出版发行:中国大地出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

购书热线:(010)66554518

官方网店:<https://zgddcbs.tmall.com/>

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)66554518

印 刷:三河市华晨印务有限公司

开 本:700mm×960mm 1/16

印 张:12.75

字 数:138 千字

版 次:2017 年 2 月北京第 1 版

印 次:2017 年 2 月河北第 1 次印刷

定 价:39.00 元

京权图字:01-2016-7839

书 号:ISBN 978-7-80246-946-4

如对本书有意见和建议或本书有印装问题,请致电 010-50976448

此书献给丽塔、娜奥米和丽贝卡

前言

PREFACE

人类区别于其他动物的特性之一就是我们对于自然的好奇心。皓月当空时，狼也会遥望月亮发出嚎叫，但只有人类会思考月亮有多大、距离我们有多远，以及月亮是由什么构成的、为什么它会有阴晴圆缺这样的问题。更宽泛地说，人类渴求关于自然如何运作的知识，就算这些知识并没有什么实际用处。历史证明，我们关于自然的许多认识并没有带给我们物质上的好处，不过也有一些知识使人类的文明发生了深刻的改变。不幸的是，并不是所有的改变都朝着好的方向发展。

感官的限制使得我们对自然的感知局限于中间尺度，太小和太大的事物我们都很难把握。我们能看到一棵树，却观察不到组成这棵树的原子。我们能看到地球的某一块，但我们的视野无法让我们直接看到地球是个球形。

在本书中，我们将注意力集中于最微观和最宏观的世界——原子、亚原子粒子以及整个宇宙。我们的目的是尽量解答以下两个问题：“我们是由什么构成的”和“我们所在的宇宙是怎样的”。

当然，我们是血肉之躯，再加上一些骨头和毛发，且我们生活在地球上。但在更小的尺度上，我们的身体是由细胞构成的，而细胞则由分子构成的。分子又是由原子构成的，而原子则可分解为电子和原子核。到目前为止，我们知道电子是一种基本粒子，因为它不能继续分解成更小的粒子。然而，原子核是由质子和中子构成的，而夸克又构成了质子和中子。目前，我们对物质本质的了解仅限于此，不过人们猜测，物质还存在着更深的层次。在宏观尺度上，地球是

太阳系中离太阳第三近的行星，而太阳系则位于银河系中。银河系是一个包含了上千亿颗恒星以及大量尘埃和其他物质的星系，这些星体在引力的相互作用下聚集在了一起。然而，银河系也仅仅是可见宇宙中几十亿个星系（恒星系统）中的一个。在可见宇宙之外是怎样一幅景观？人们有诸多猜测，不过我们甚至不确定人类能否对可见宇宙之外的世界有所了解。

马上，我们就要开启进入微观世界和宏观世界的旅程。你的所见所闻将颠覆你的三观和认知，你将感到难以置信。人类自古以来就在探索物质的构成以及宇宙的运行规律，然而直到 20 世纪，人类的知识才开始爆发式增长，于是我们今天有幸能大致了解自然在宏观和微观上的面貌。

为了更好地了解微观世界和宏观世界，我们要在人类自身的尺度上对自然进行审视。在这一过程中，我们会学到一些有用的物理规律，其中一些似乎符合常理，但适用范围有限。同时，我们还采取历史方法，讨论一些现在看来很古怪，甚至很愚蠢的观点。探讨早期科学观点中的谬误对我们而言有着诸多裨益。

科学知识往往具有时代的局限性。过去的经验让我们相信，科学上的新发现会以许多种不同的方式改变我们的自然观。不过，我们现在的许多科学观点仍是深深植根于过去的观察和实验，所以我相信，人类至今所取得的科学成果将影响深远。

参考书目中列举了与本书主题相关的一些书籍。在此对这些书籍的作者表示感谢，从他们的书中我获取了一些有价值的资料。同时，我还参考了一些其他资源，尤其是网络资源。在这一过程中，我对这些资料进行了选择和取舍，必要时对资料进行更新，并在表述的时候打上自己的烙印。我还应该感谢我在印第安纳大学的同事、我的老朋友 Steven Gottlieb 和 Roger Newton，和他们的谈话让我受益匪浅。还要感谢印第安纳大学的 Bruce Carpenter 为本书作图，感谢 Andrew Chan Yeu Tong 协助编辑本书，感谢世界科学出版社的 Alvin Chong 在本书的出版事宜上给予帮助。

目 录

CONTENTS

■ 第 1 章 早期的宇宙观 / 1

- 1.1 地球 / 1
- 1.2 天空 / 2
- 1.3 亚里士多德和阿里斯塔克斯的观点 / 3
- 1.4 哥白尼革命 / 7

■ 第 2 章 太阳系和太阳系之外 / 9

- 2.1 椭圆轨道 / 9
- 2.2 伽利略的贡献 / 11
- 2.3 恒星 / 12

■ 第 3 章 牛顿的时空观 / 14

- 3.1 无限的宇宙 / 14
- 3.2 无穷的时间 / 18

- 3.3 标量和矢量 / 19
- 3.4 四维时空 / 22
- 3.5 速度和加速度 / 24

■ 第4章 早期的运动观 / 27

- 4.1 齐诺悖论 / 27
- 4.2 亚里士多德的运动观 / 30
- 4.3 伽利略的运动观 / 32

■ 第5章 牛顿的运动定律 / 35

- 5.1 第一定律 / 35
- 5.2 第二定律 / 36
- 5.3 第三定律 / 39
- 5.4 参考系 / 40

■ 第6章 牛顿的引力理论 / 46

- 6.1 苹果与月球 / 46
- 6.2 远距离作用 / 48
- 6.3 场 / 49

■ 第7章 能量和动量 / 50

- 7.1 功 / 50
- 7.2 能量 / 51
- 7.3 能量守恒 / 52
- 7.4 动量 / 53
- 7.5 动量守恒 / 54

7.6 角动量 / 55

■ 第 8 章 电与磁 / 56

8.1 电 / 56

8.2 磁 / 58

8.3 电磁 / 60

■ 第 9 章 波的运动 / 62

9.1 声波 / 62

9.2 声音的多普勒效应 / 64

9.3 光波 / 64

9.4 光的多普勒效应 / 66

■ 第 10 章 相对论 / 68

10.1 牛顿理论的局限性 / 68

10.2 全新的运动定律 / 69

10.3 双胞胎悖论 / 74

10.4 光速是速度的极限 / 76

10.5 等效原理 / 77

10.6 引力是扭曲的时空 / 77

10.7 黑洞 / 80

■ 第 11 章 原子 / 81

11.1 早期的原子观 / 81

11.2 原子存在的证据 / 82

11.3 原子的构成 / 84

11.4 原子核 / 85

■ 第 12 章 量子理论的曙光 / 89

12.1 黑体辐射 / 90

12.2 光电效应 / 91

12.3 线状光谱 / 93

12.4 玻尔的原子模型 / 93

■ 第 13 章 量子力学 / 95

13.1 粒子波 / 95

13.2 非相对论量子力学 / 96

13.3 海森堡的不确定原理 / 98

13.4 量子力学中的干涉问题 / 100

13.5 相对论性量子力学 / 101

13.6 自旋与统计 / 107

13.7 纠缠 / 108

■ 第 14 章 元素 / 111

14.1 角动量的量子限制 / 111

14.2 元素 / 113

14.3 化合物 / 116

■ 第 15 章 原子物理 / 118

15.1 强力 / 118

15.2 原子核 / 120

15.3 核聚变 / 123

15.4 关于放射性的其他问题 / 125

15.5 核裂变 / 126

■ 第16章 基本粒子 / 128

16.1 什么是基本粒子 / 128

16.2 基本强力 / 129

16.3 弱力 / 130

16.4 标准模型 / 132

■ 第17章 太阳和太阳系 / 144

17.1 太阳 / 144

17.2 行星 / 147

■ 第18章 银河系 / 161

18.1 恒星 / 161

18.2 星球的演变 / 164

18.3 星系 / 167

■ 第19章 宇宙 / 170

19.1 宇宙的扩张 / 170

19.2 宇宙微波背景辐射 / 174

19.3 大爆炸 / 175

19.4 膨胀 / 178

19.5 宇宙是由什么组成的 / 180

■ 第 20 章 假想 / 184

20.1 超对称理论 / 184

20.2 超弦理论 / 187

第1章

早期的宇宙观

嘲笑进步之希望是最终极的愚昧,是精神匮乏和心智卑贱的终极表现。

——彼得·梅达瓦爵士(1915—1987)

1.1 地球

在人类社会早期,绝大多数学者认为地球是宇宙的中心。这很正常,因为对于人类的凡胎肉眼而言,地球实在是巨大无比。与地球相比,天空中的一切——甚至包括太阳——都显得渺小。在各种各样的文化里面,地球要么被看作像碟子一样平坦,要么被看作呈球形。同样,许多文明把地球视为一块平地——尽管上面有着许多诸如高山峡谷之类的高低起伏——这一现象也是可以理解的。产生这一现象的原因莫过于大地实在太过辽阔,所以我们通常无法发现其表面上的曲度。人类通过感官认识的宇宙往往和真实的宇宙相去甚远,而对地球的认识仅仅是许许多多例子中的一个。

我们能从某些地方看出地球是圆的。在海边眺望向你驶来的船只时,你首先看到的是船的顶部,而船在吃水线以下的部分仍处于地平线之下。

在现代,我们已经有了足够的证据证明地球是(十分接近)球形的。几百年前,探险家们乘坐帆船环游世界。现在,飞机和人造卫星载着人类环绕地球飞行。从任何角度上看,地球都是圆的,这就说明地球呈球形。如果地球是其他形状,如圆盘状,那么在圆盘的外沿观察时,地球就是薄薄的一片。球形具有其他形状不可比拟的对称性,因为只有它无论从哪个角度看都是圆的。当然,只有当我们距离地球足够远时才能观察到地球的形状。地球如此之大,以至于整体看来它就是一马平川,尽管上面也有高低起伏,因为有些地方布满了高山与峡谷。

很有趣的是,许多持“地平论”的人把地球看作一个圆盘,而不是正方形或某种不规则形状。同样地,大多数“地平论”者认为自己所处之地即为地球的正面,其上便是天空。关于地球的背面是什么,人们只能猜测。“地平论”者相信人会从地球的边缘坠落,不过,并没有人亲眼见过地球的边缘,于是他们便认为边缘离自己还很远很远。另一种观点则认为,地球具有无限辽阔的土地(或者说,在任何方向上都没有终点)。不过,后一种观点似乎没有多少“地平论”者支持。

那些认为地球呈球形(不考虑像高山之类的不规则地形)的人明白,地球没有边缘,同时它的土地也不是无限大。现在我们都知道地球并不是一个标准的球体。由于每天自转一周,所以地球呈现出两极稍扁、赤道略鼓的形状。既然地球是球形,或类似球形,那么向下的方向便是指向地心。人们认为,物体会落向地面要么是“自然而然”的,要么就是受到了某种“影响”(人们后来称这种影响为引力)。这两种观点看上去没有太多区别,因为引力本身就可以看成一种自然的影响。我们现在知道,对物体落地这一现象作一个定量的描述有多么重要。

1.2 天空

对于我们的祖先而言,天空就是我们在大地上所仰望之处。它包括太阳、

月球、行星、恒星,有时还包括彗星和流星等其他天体。即便在古代,人们也通过对比天体运动方式的不同而将行星和恒星区分开来。行星相对恒星运动,而希腊语中“行星”的意思是“游荡者”。

最早拥有宇宙观的文明是巴比伦文明,其位置在今天的伊拉克。古代文献记载,早在公元前 1700 年,巴比伦人就计算出了 1 年的长短,并精确到几分钟。巴比伦人将一年分成 12 个太阴月。1 个太阴月即人们在地面上观察到两个满月之间的时间,比 29 天多一些。因为一年要稍长于 12 个月,于是巴比伦人每隔几年就会设置一个闰月。

巴比伦人将 1 个圆分成 360 度,每 1 度分成 60 分钟,每分钟分成 60 秒。这种角度测量单位仍为现代人所沿用,不过我们同时也用其他的方式。图 1.1 中,圆圈被标注出 30 度和 90 度。1 度简化为符号“°”。

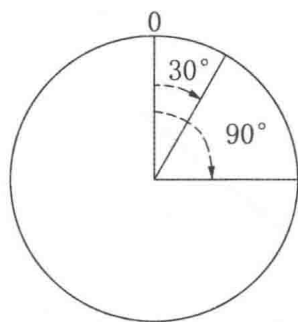


图 1.1 圆以及圆中间的 30 度角和 90 度角

1.3 亚里士多德和阿里斯塔克斯的观点

在此,我们跳过中国和印度,直接探讨古希腊天文学家的成就。亚里士多德(公元前 384—前 322)是古希腊最具影响力的天文学家。他声称,关于自然的知识应建立在观察的基础上。这一观点相对于主张知识应来自纯粹推理的柏拉图而言已是巨大的进步。然而,亚里士多德并不是时时刻刻都能言行一致,他自己也常常陷入柏拉图的思维陷阱。此外,亚里士多德还经常从自己的观察中得出错误的结论。

亚里士多德认为地球、太阳和月球为球形；地球静止地处于宇宙中心，所有天体围绕地球旋转。在这一构想中，太阳和恒星每天绕地球转一圈。现在我们都知，是地球绕其轴线每天自转一圈这一事实造成了观察者眼中太阳和恒星绕地球公转的错觉。

亚里士多德关于地球和天空的大多数观点来源于更早期的希腊哲学家，包括毕达哥拉斯和柏拉图。谁又能责怪亚里士多德呢？地球看上去确实像是在宇宙的中心呀。

我所知的第一个声称地球是球形的古希腊人是毕达哥拉斯（卒于公元前497年）。毕达哥拉斯并没有拿出任何证据来证明自己的信仰，而是基于美学欣赏做出了这一论断。另外，相信“地心说”的亚里士多德却给出了几个证据，其中最具说服力的是在月食过程中，地球的阴影在掠过月球表面时看上去像是圆的一部分。

后来，出生于现在叫作利比亚的那块土地，并在雅典和亚历山大港生活的埃拉托色尼（生于公元前约276年，去世时间未知）进行了一次测量，估算出了地球的周长。他听说在夏至日那天（6月21日）正午，在一个叫作赛伊尼（今埃及的阿斯旺）的地方能看见太阳正当头顶。当时住在亚历山大港（位于赛伊尼北方）的埃拉托色尼发现，一根木棍的阴影形成了一个大约7度的角，这个角大约为一个完整的圆的五十分之一。（该角为木棍与木棍顶端和阴影顶端之间连线的夹角。）他查询了赛伊尼和亚历山大港两地之间的距离，于是便计算出了地球的周长约为两个城市距离的50倍。我们不清楚埃拉托色尼测量距离时使用的是哪种计算单位，但是他离计算出地球的准确周长，即我们现在所说的约40234千米，已经十分接近了。

现在让我们又回到亚里士多德。在亚里士多德看来，地球和它的“邻居们”都是由四种元素构成：土、气、水、火。天空则由第五种物质构成，他称这种物质为“以太”（ether）或“第五元素”（quintessence）。现在看来，亚里士多德当时的主张是幼稚的。例如，他所说的“土”中便包含了各种各样的物质，只需看一看

泥土中形形色色的物质便可得知。如今我们知道,这些形形色色的物质都是由不到 100 种自然物构成的,我们把这种自然物称为“元素”。在以后的章节中我们将更加深入地对这些元素进行探讨。

古希腊天文学家,生活于萨摩斯岛的阿里斯塔克斯(公元前 310—前 230)通过几何方法演绎出了地球、太阳和月球的相对大小。当他发现太阳要远远大于地球时,他得出了地球围绕太阳运动的结论,因为他不相信体积大的天体会围绕体积小的旋转。地球围绕太阳运动这一观点被称为“日心说”。

同时,阿里斯塔克斯相信地球围绕地轴旋转,由此产生了日夜之分。他还认为地轴相对黄道面(地球绕太阳公转的轨道平面)是倾斜的。对于这些观点,阿里斯塔克斯没有留下任何的文字资料,不过,从伟大的古希腊物理学家阿基米德(公元前 287—前 212)对他的引用中便可以窥见一二。

在接下来的几个世纪里,阿里斯塔克斯的观点并没有得到广泛认同,原因之一是亚里士多德的影响力太大了。而且,当时大家所谓的“常识”也与亚里士多德的理论“交相辉映”。要是地球自己在旋转,那我们为什么感觉不到呢?为什么我们没有被甩出去?亚里士多德时代的古希腊人无法解释这些问题,因为他们还不知道有惯性和重力这回事。惯性和重力这两个概念要到 16 世纪后才为人所了解,我们将在下面的章节中进行讨论。

继阿里斯塔克斯之后最伟大的古希腊天文学家是生活在公元前两世纪的希帕克。通过运用三角术,他对阿里斯塔克斯的著作进行了改进,得出了地球、太阳和月球之间相对大小的更为精确的数值。不过,希帕克同意亚里士多德关于太阳围绕地球旋转的观点,而不是相反。

希帕克同意“地心说”的原因在于,如果地球围绕太阳旋转,那么在地球上观察恒星时,恒星的位置便处于不断变换之中。这一位置变换就是“恒星视差”,但希帕克并没有观察过这一现象。想要理解视差,你可以在眼前 30 厘米处竖起一根手指,先闭上左眼,用右眼观察手指,然后闭上右眼,用左眼观察。用不同眼睛观察手指时,手指好像处在不同位置。产生这一现象的原因是两只