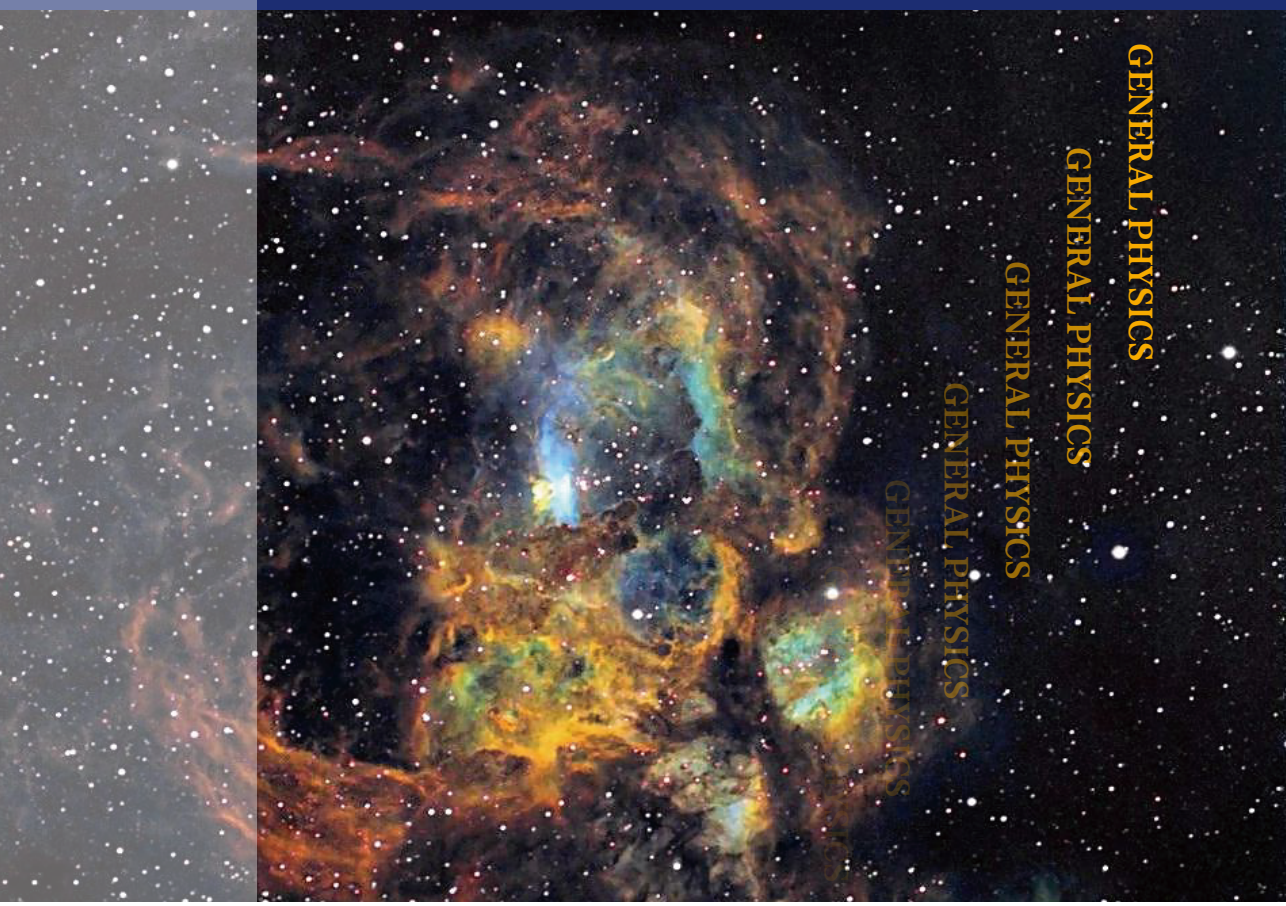
◆中央高校教育教学改革教材建设专项经费资助◆

通识物理

GENERAL PHYSICS

张加驰 主编



蘭州大學出版社
LANZHOU UNIVERSITY PRESS

◆ 中央高校教育教学改革教材建设专项经费资助 ◆

通识物理

GENERAL PHYSICS

主　编　张加驰
副主编　王得印　徐远丽　李颖弢

GENERAL PHYSICS
GENERAL PHYSICS
GENERAL PHYSICS
GENERAL PHYSICS

蘭州大學出版社
LANZHOU UNIVERSITY PRESS

前 言

物理，取自“格物致理”，是一门研究物质运动及其基本规律的科学，其研究对象涵盖大至宇宙小至基本粒子的一切物质，是自然科学中最基础的学科。科学是社会发展的第一推动力，而物理的演变不仅引领着科学的发展，还推动着人类文明的进步，比如：工具（力学）的制作和应用，标志着区别于猿猴的人类的诞生；蒸汽机（热学）的发明推动了人类改造世界能力的飞跃；而现在信息网络技术（电磁学）的发展又引领着新的社会变革。不仅过去，人类的将来也在很大程度上依赖于物理的发展和应用，所以我们必须重视科学，尤其重视对物理的学习。

在人类最早的科学体系中，并没有今天这样细致的学科划分，所有自然科学都属于哲学，不仅牛顿的名著《自然哲学的数学原理》与哲学有关，当时很多科学家本身也都是哲学家。所以，包括物理在内的自然科学与人文科学本来就有悠久的历史渊源，文理两种科学文化也应该是相连相通的。遗憾的是，在很长的时间里，人们把自然科学与人文科学分裂和对立起来：理工科学生不学语文、历史和艺术，人文学科学生则不学物理、化学和生物。这样分科学习的后果就是大学生普遍存在一定的知识缺漏，缺乏创新能力和认知视野，这也极大地禁锢了自身专业的发展。现实告诉我们，要改善和提高大学生的基本素质，不仅要“专”，还需要“博”，也就是要有广阔的视野和知识面。因此，理工科学生必须学习一些文科课程，而人文学科学生也应该学习一些理科课程。作为自然科学中，与人类生活最息息相关，知识逻辑也最直观理性的物理，就成为人文学科大学生培养理性思维习惯，提高基本科学素养的

最佳选择。

从学习效果看，理工科学生学习文科课程的积极性很高，收获也大；但人文学科学生学习物理的情况却不如人意，其主要原因在于：一方面，人文学科学生不具备基本的理性思维和科学素质，所以学习物理的难度较高；另一方面，现有人文类物理课程的教学没有脱离传统专业教学模式。目前，市面上的人文类物理教材大多由成名已久的物理大师编撰，内容和讲解当然都十分经典，但仍然沿用了理工类物理书籍“注重数学推导和计算实例”的模式，这对于数学基础较差的人文学科学生而言实在是太难了，也没有必要。所以，学生不仅缺乏学习兴趣，也很难学懂。另一方面，少部分教材又矫枉过正，完全放弃基本的物理内容和数学计算，过分注重科普和科学家的故事，这又偏离了物理作为一门通识课程的教学初衷。因此，目前我们亟需编撰一本专门针对人文学科学生的理科基础、学习习惯、思维方式以及学习目标，同时还要符合通识素质教育目标的新物理教材。

本书在系统、完整的大学物理框架下，选取适合人文学科学生学习的知识内容，以“导出物理概念及定律→分析讨论及实验验证→解释生活中的常见现象”为思路进行编撰。内容弱化数学推导和计算，特别注重物理知识的实际应用和生活联系，并辅以海量的经典实例和演示实验来帮助学生理解物理概念和定律。本书的文字幽默风趣、通俗易懂，所有物理知识点和经典物理事件都配以生动形象的漫画，能显著提升学生的学习兴趣，增进学生对物理知识的直观认识，并有效培养学生的理性思维习惯和基本科学素质。因此，本书是人文学科学生及普通社会人群学习物理、读懂物理的最佳通识读本。同时，本书在文字和漫画方面的艺术个性也体现出较好的收藏价值。

本书由兰州大学张加驰博士任主编，王得印博士、徐远丽博士、李颖弢博士任副主编。其中，第1章、第2章、第3章、第4章由张加驰和徐远丽共同编写；第5章、第6章、第7章、第8章由张加驰和王得印共同编写；第9章、第10章和第11章由张加驰和李颖弢共同编写。全书由张加驰、王得印、徐远丽、李颖弢共同修订并统稿。在本书的编撰过程中，兰州大学物理学院的高崇伊教授、刘肃教授、谢二庆教授曾为本书提供了很多素材和帮助，并对本书的风格

和内容提出了许多宝贵的意见，艺术学院的徐子超老师则为本书的配图做了大量工作，在此向他们表示深深的敬意和感谢。本书的出版还得到了兰州大学教材建设基金的资助和兰州大学出版社的大力支持，在此深表感谢。

为了帮助使用本书教学的师生取得更好的教学效果，本书还配套了完全免费共享的网络慕课，包含本书所涉及的所有教学视频、多媒体课件、课后作业、自测考试题库、主题讨论论坛、Flash动画等丰富的教学资源。本书的所有编者及众多助教也会根据课程日历实时在线参与网络教学和辅导答疑。本书的网络慕课由兰州大学慕课网（http://lzdxmooc.kfkc.webtrn.cn）支持建设，可以给使用本书教学和学习的师生提供一个网上交流、学习的开放平台。

书中错误之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编　者

2017年6月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目 录

第1章 牛顿经典力学 ……001

1.1 牛顿经典力学的开创背景 ……001

1.1.1 地心说 ……001

1.1.2 日心说 ……004

1.1.3 开普勒行星运动定律 ……008

1.2 万有引力定律 ……012

1.2.1 万有引力 ……012

1.2.2 万有引力理论的检验 ……014

1.2.3 万有引力定律的应用 ……016

1.3 牛顿运动定律 ……020

1.3.1 牛顿第一定律及应用 ……020

1.3.2 牛顿第二定律及应用 ……022

1.3.3 牛顿第三定律及应用 ……024

第2章 动量和能量守恒定律 ……027

2.1 运动之量 ……027

2.1.1 动量 ……027

2.1.2 冲量定理 ……029

2.1.3 冲量定理的应用 ……030

2.1.4 动能 ……033

2.2 动量守恒定律 ……035

2.2.1 动量守恒定律 ……035

2.2.2 动量守恒定律的应用 ……038
2.3 能量守恒定律 ……040
2.3.1 能量守恒定律 ……040
2.3.2 能量守恒定律的应用 ……042

第3章 角动量守恒定律 ……045

3.1 物体的转动 ……045
3.1.1 力矩 ……045
3.1.2 转动惯量 ……046
3.1.3 角动量 ……049
3.2 角动量守恒定律 ……051
3.2.1 角动量守恒定律 ……051
3.2.2 定量特性 ……052
3.2.3 定轴特性 ……054

第4章 液体的表面特性 ……057

4.1 表面张力 ……057
4.1.1 表面张力 ……057
4.1.2 水的表面现象 ……059
4.2 固液表面现象 ……060
4.2.1 湿润与不湿润现象 ……060
4.2.2 毛细现象 ……062

第5章 流体 ……066

5.1 流体的性质 ……066
5.1.1 流体的性质 ……066
5.1.2 理想流体 ……067
5.2 流体力学 ……069
5.2.1 连续性方程及其应用 ……069
5.2.2 伯努利方程 ……071
5.2.3 伯努利效应及其应用 ……072

第6章 热学 ……077
6.1 热力学第一定律 ……077
6.1.1 永动机与热质说 ……077
6.1.2 热力学第一定律 ……079
6.1.3 改变内能的方式 ……083
6.2 热力学第二定律 ……086
6.2.1 热机与冷机 ……086
6.2.2 蒸汽机与工业革命 ……088
6.2.3 热力学第二定律 ……090
6.2.4 熵增加原理 ……093
6.3 热力学第三、第零定律 ……097
6.3.1 热力学第三定律 ……097
6.3.2 热力学第零定律 ……099

第7章 振动与波动 ……101
7.1 振动 ……101
7.1.1 机械振动 ……101
7.1.2 简谐振动 ……102
7.1.3 阻尼与受迫振动 ……104
7.1.4 共振 ……106
7.2 波动 ……111
7.2.1 机械波 ……111
7.2.2 多普勒效应 ……113

第8章 量子论和狭义相对论 ……116
8.1 经典物理的乌云 ……116
8.1.1 两朵乌云 ……116
8.2 量子论 ……118
8.2.1 黑体辐射 ……118
8.2.2 量子的提出 ……120

8.3 狭义相对论 ……123
8.3.1 以太假说 ……123
8.3.2 光速疑难与迈克尔孙–莫雷实验 ……125
8.3.3 洛伦兹变换 ……129
8.3.4 狭义相对论 ……132
8.3.5 狭义相对论效应 ……135
8.3.6 孪生子佯谬 ……136
8.4 广义相对论 ……139
8.4.1 广义相对论 ……139
8.4.2 广义相对论的两个结论 ……142
8.4.3 广义相对论效应 ……144

第9章 原子 ……148

9.1 对原子的初步认识 ……148
9.1.1 原子概念的提出 ……148
9.1.2 四个重要进展 ……150
9.2 原子模型 ……154
9.2.1 原子模型的发展 ……154
9.2.2 中子的发现 ……158
9.2.3 粒子与基本相互作用 ……160
9.3 核裂变与核聚变 ……162
9.3.1 核裂变与原子弹 ……162
9.3.2 核聚变与氢弹 ……165
9.3.3 核能的和平利用 ……167

第10章 电磁学 ……171

10.1 电荷的基本性质 ……171
10.1.1 摩擦起电 ……171
10.1.2 电荷间的相互作用 ……173

10.2 电场性质 ……176
10.2.1 静电感应和静电极化 ……176
10.2.2 静电现象 ……178
10.2.3 带电导体表面的电场分布规律 ……180
10.3 电与磁 ……182
10.3.1 磁场与磁现象 ……182
10.3.2 电流磁效应与安培力 ……185
10.3.3 电磁感应现象 ……187

第11章 光学 ……189

11.1 光的本质 ……189
11.1.1 微粒说和波动说 ……189
11.1.2 色散与颜色 ……193
11.2 几何光学 ……196
11.2.1 光的直线传播定律 ……196
11.2.2 光的反射定律 ……197
11.2.3 光的折射定律 ……199
11.2.4 费马原理 ……202
11.2.5 光的全反射 ……204
11.3 波动光学 ……206
11.3.1 光的干涉 ……206
11.3.2 光的衍射 ……209
11.3.3 光的偏振 ……212

参考文献 ……217

第1章　牛顿经典力学

1.1　牛顿经典力学的开创背景

物理学是一门自然科学，其实早期的自然科学是从哲学中分离出来的，而物理学则最早是从天文学中分离出来的。在过去，人类对天文学研究的目的在于了解权威神灵的意志，但后期则逐渐转向对天体运行规律的研究，这使得人类对天文研究的重点从宗教范畴中脱离出来，开始形成一些近代自然科学的雏形。对物理学科而言，人类对天体运行规律的认识过程几乎就是牛顿经典力学的开创过程，在这一过程中，诞生了诸如开普勒行星运动定律、万有引力定律以及牛顿运动定律等伟大的物理定律。而这个激动人心过程的开端就是哥白尼在16世纪提出的“日心说”，其不仅是西方自然科学的启蒙，也由此正式揭开了牛顿经典力学的发展序幕。然而，在“日心说”之前，人类对地球和其他天体运行规律的认识，却都是以“地心说”为依据的。因此，要很好地了解牛顿经典力学的开创过程，就必须从了解古老的“地心说”开始。

1.1.1　地心说

从很早的时候开始，人类中的智者就在思考一些重要的问题，比如：地球在宇宙中所处的位置、日月星辰为什么总是东升西落等等，他们通过观察和经验，并结合一些神灵意识，逐渐形成了一些早期的天文学理论。需要特别强调的是：这些天文学理论虽然存在很多错误，但大多并非迷信和想象，而是

需要全本请访问 www.ertongbook.com

科学观察和研究的结果。

公元前400多年，古希腊哲学家柏拉图根据对日月星辰做环绕运动的直观认识，给他的学生们提出了一个问题：是否能用匀速圆周运动的组合去描绘所有天体的运行轨迹？针对这个问题，柏拉图的学生欧多克斯第一个致力于建立一个宇宙的几何模型，他开始尝试用以地球为中心的同心球壳来解释附着于球壳上的天体运动。欧多克斯的研究成果虽然很有限，但这个“同心球壳”的创意却很好地启发了著名古希腊哲学家亚里士多德。公元前300多年，亚里士多德系统地提出了“地心说”的设想，他认为：宇宙是一个有限的球体，地球位于宇宙的中心，包括太阳和月亮在内的其他天体都在各自的天球轨道上，围绕着地球做匀速圆周运动。地球之外有9个等距天层，由里到外的排列次序是：月球天、水星天、金星天、太阳天、火星天、木星天、土星天、恒星天和原动天，此外空无一物。而且亚里士多德认为天体自己是不会运动的，在九重天球的顶层“原动天”，住着一位神灵般的“第一推动者”，也就是后来教会所宣扬的“上帝”，如图1.1所示，正是上帝推动着所有天体围绕地球旋转。当然，上帝的形象和名称并不是亚里士多德提出的，但在当时，亚里士多德的地心说宇宙模型还是为教会有关“上帝创造人类”的宗教教义提供了充分的“科学”依据。不仅如此，亚里士多德还把我们的世界分为“月下世界”和“月上世界”。就像在中世纪油画作品中表现的那样，凡人生活在肮脏、世俗

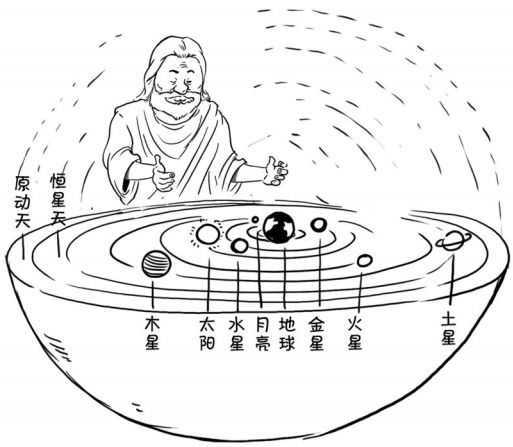


图1.1　亚里士多德的“九重天”宇宙模型

的“月下世界”,而神灵则居住在神秘、高贵,并且充满“以太”的“月上世界”。这样的神学观点为教会的权威找到了理论支持,因而符合教会的宗教利益,并最终被教会所利用,当然这并非亚里士多德的本意。

公元140年,古希腊著名学者托勒密总结了前人在过去400年间的成果,发表了他的13卷巨著《天文学大成》,在书中他进一步完善了亚里士多德的设想,提出了形态比较完整的“地心说”(有人也据此认为托勒密才是地心说的提出者)。在当时,地心说不仅由学术权威提出,还符合人们对日月星辰从东方升起、西方落下的直观体验,同时还与教会的宗教教义契合,因此在当时得到了教会的支持和守护,并被人们广泛认可。然而,地心说很快就面临了重大的理论挑战。如前面所述,地心说假设所有的天体都绕地球做匀速圆周运动,所以理论上天体应永远和地球保持同一距离。可是人们在实际的天文观测中发现:行星的亮度会发生变化,日食有时是全食有时是环食,再比如很多天体(火星)的运行都有一种忽前忽后、时快时慢的现象。这些现象充分说明天体到地球的距离是不断变动的,而这与地心说的匀速圆周运动理论产生了矛盾。为了解决这个问题,托勒密提出了一个牵强附会的“本轮均轮”学说,如图1.2所示:他将天体绕地球公转的轨道称为“均轮”,并在每个均轮上又为天体设计了运动的“本轮”。这样一来,每个天体在沿着均轮做绕地公转运动的同时,还会像卫星一样绕着均轮上一个移动的中心(也就是本轮中心)做旋

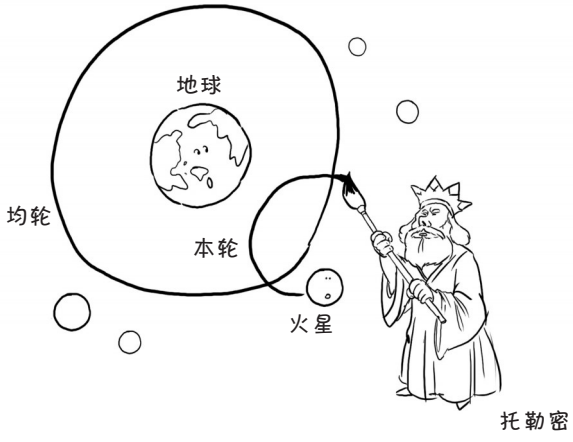


图1.2　托勒密的本轮均轮学说

转运动，从而给人们一种错觉：虽然从均轮中心的地球看来，天体会出现忽前忽后、时快时慢的现象，但在本轮中心看来，天体仍然在做匀速圆周运动。这个设计虽然十分复杂，但却巧妙地解释了地球上所看到天体出现忽前忽后现象的原因，这不仅弥补了地心说的一些理论漏洞，还令人更加信服，地心说也由此流传长达1300多年。

地心说作为人类世界第一个完善的宇宙模型，尽管其“地球是宇宙中心”的基本观点就是错误的，但它的历史功绩不应抹杀。地心说的进步性主要体现在两个方面：首先，地心说认为地球是“球形”的，并区分了行星和恒星，还着眼于探索和揭示行星的运动规律，这标志着人类对宇宙认识的一大进步。其次，地心说运用数学工具来计算行星的运行轨迹，不仅亚里士多德首次提出了“天球轨道”的概念，托勒密还设计出了“本轮均轮”。这使得人们能够对行星的运动和位置进行定量计算，从而帮助人们在一定程度上预测天象，所以在人类的生产实践中也起过一定的积极作用。

1.1.2 日心说

自亚里士多德开始，地心说在人类世界逐渐广为流传。但是，贫瘠的土壤并不能长出茁壮的树苗。刚开始，托勒密等人通过人为地规定本轮、均轮的大小及行星运行速度，才使地心说模型和实测结果取得一致。但是，到了中世纪后期，随着观察仪器的不断改进，行星运动轨迹和位置的测量越来越精确，人们发现行星的实际位置与地心说模型存在较大的偏差，添加更多的本轮暂时可以解决问题，但随着需要添加的本轮数量越来越多（最多超过80个），地心说模型变得越来越复杂，不仅漏洞百出，还基本处于即将崩溃状态。

这时，很多人意识到，对地心说的修补工作已经失去了意义，创建新的宇宙模型显得十分必要。终于，就在这样鼓噪的土壤里，一个导火索式的人物出现了，他就是1473年出生于波兰一个富商家庭的尼古拉·哥白尼，正是哥白尼提出了“日心说”的新宇宙模型。不过，日心说的提出在当时并非偶然，而是有着独特的时代、历史、哲学和科学四大根源。

在16世纪前后，欧洲人完成了一系列对世界历史产生重大影响的航行，哥伦布首先做出了地理大发现，而麦哲伦的船队则第一次实现了环球航行（麦哲伦本人死于菲律宾）。这些航行不仅极大地开阔了人类的视野，也很好

地促进了不同文明间文化的传播与交流，更用实践证明了地球是球形的。与此同时，在思想方面，中世纪的欧洲长期处于教会的黑暗统治之下，而大航海带来了激烈的文化碰撞和思想交锋，并导致了欧洲文艺复兴运动的兴起。从这一时期开始，人们终于跳出中世纪艺术和思想的圈子，不再专注于权威、呆板的神灵和君主，而是更加注重普通人的内心。思想的解放和对自由、正义的追求，都强烈地呼唤着新社会和新世界观的诞生。而真正解除欧洲宗教对自然科学发展束缚的事件则是16世纪发生的“宗教改革”。在16世纪前，《圣经》是用拉丁文写的，一般人都看不懂，教会则利用这点曲解《圣经》，向人们兜售“赎罪卷”。他们谎称只要购买了“赎罪卷”，就可在上帝面前赎罪，死后也会进入天堂。1517年，德国青年学者马丁·路德在学会拉丁文后，发现“赎罪卷”的内容并非赎罪，购买“赎罪卷”只能喂肥教会。于是，马丁·路德在一气之下写出95条指控(《九十五条论纲》)贴在教堂外，他愤怒的指控犹如晴空惊雷一般引起了剧烈的社会震荡，不仅直接导致了16世纪欧洲的宗教战争、分裂和改革，还彻底打破了人们对教会和上帝的迷信，从而消除了禁锢自然科学发展的最后一块思想屏障。



图1.3　毕达哥拉斯讲述“中心火”宇宙模型

波兰人哥白尼就是在这样激荡飞扬的时代背景下成长起来的。大学毕业后，哥白尼利用自己作为医生和神父的优越社会经济地位，对天文学进行了几十年如一日的深入钻研，积累了大量客观、准确的天文观测数据，这成为

日心说提出的科学根源。在研究中，哥白尼发现地心说不仅复杂混乱而且漏洞百出。这时，哥白尼突然想到，在1700年前的古希腊，天文学家阿里斯塔克曾凭借灵感提出过一个类似“太阳位于宇宙中心”的猜想。虽然这个猜想没有详细的讨论和依据，在学术上毫无用处，但还是成为启发哥白尼日心说的历史根源。与此同时，哥白尼还想到另一位古希腊哲学家毕达哥拉斯在公元前500多年也曾提到过一个富有启发性的“中心火”模型。毕达哥拉斯从哲学的角度认为“火”是世界上最圣洁的东西（如图1.3所示），包括人在内的世间万物都是围绕着火而分布的，所以火应该位于宇宙的中心。而太阳看起来就很像火，所以中心火的设想成为哥白尼日心说的哲学根源。



图1.4　哥白尼提出日心说

在两位前人智者的思想启发下，哥白尼终于意识到：只要把地球从宇宙的中心移开，把太阳放到宇宙的中心，一切就会变得简单、清晰而准确了，也就是“日心说”（图1.4）。就这样，经过长期、反复的思考，所有天体都绕太阳旋转的日心说模型，在哥白尼的头脑中逐渐成熟。然而，地心说在当时代表着教会的权威，因为害怕宗教迫害，哥白尼不仅在自己的宇宙模型中保留了上帝居住的“原动天”，还直到临逝前（1543年）才把日心说的观点和理论通过自己的著作《天体运行论》予以出版公布。为了讨好教会，《天体运行论》的前言中还写道：“把此书献给最神圣的教主——保罗三世教皇陛下。”哥白尼的心机在初期迷惑了教会，使《天体运行论》得以顺利地出版和传播。但是很快，

教会就从哥白尼散布的迷雾中清醒过来，日心说的支持者开始受到教会的疯狂围剿，《天体运行论》也被视为禁书，一律收集焚毁。不仅保守的罗马教廷，一些标榜革新的新教也不能容忍日心说，宗教改革的领袖马丁·路德就曾激烈地表示："谁敢把哥白尼置于权威的圣灵之上？"（图1.5）



图1.5　哥白尼的日心说和《天体运行论》受到教会的围剿

就在这最黑暗的时刻，意大利青年学者布鲁诺勇敢地站出来为日心说辩护。如图1.6所示，他不仅赞同和宣扬日心说，还进一步认为宇宙根本就是无限的，并否认了"原动天"和上帝的存在。而这些新观点，不仅从学术上清除了"上帝"生存的空间（没有上帝居住的原动天，自然也就没有上帝），还从宗教教义上动摇了教会权威性的理论基础（宇宙是无限的，上帝没有控制力），这当然引起了教会的极大恐惧和愤怒。1600年2月17日，52岁的布鲁诺被教会逮捕，并被处以残酷的火刑。临刑前，罗马教廷再次劝他忏悔，并说明只要忏悔就可以免死，但布鲁诺毫不理会，勇敢地走向了罗马鲜花广场上的火堆，并宣称："我走向火堆，但你们比我更恐惧。"布鲁诺虽然为科学和真理献出了宝贵的生命，但人们永远记住了他的观点。300年后，布鲁诺用生命所捍卫的日心说终于得到了世人的公认，他的学说和精神则像熊熊燃烧的火堆，永远照耀着后人前行。

需要全本请访问 www.ertongbook.com