

国家大学生文化素质教育基地教材

《科学与人类文明》丛书

物理学与人类文明

盛正卯 叶高翔 编著

《科学与人类文明》丛书 物理学与人类文明

盛正卯 叶高翔 编著

74-49

10

浙江大学出版社

浙江大学出版社

物理学与人类文明

盛正卯 叶高翔 编著

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学与人类文明 / 盛正卯, 叶高翔编著. —杭州:
浙江大学出版社, 2000.11
(科学与人类文明)
ISBN 7-308-02587-X

I. 物... II. ①盛...②叶... III. 物理学 - 普及读
物 IV. 04.49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 54114 号

责任编辑 陈晓嘉
出版发行 浙江大学出版社
(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)
(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
排 版 浙江大学出版社电脑排版中心
印 刷 浙江上虞印刷厂
开 本 730mm×980mm 1/16
印 张 12.5
字 数 202 千
版 次 2000 年 11 月第 1 版 2001 年 8 月第 2 次印刷
印 数 4001—7000
书 号 ISBN 7-308-02587-X/O·254
定 价 18.00 元

序

中国科学院院士 杨叔子
教育部高等学校文化素质教育指导委员会主任

在千年更替之际,一套以科学发展为主线、展现人类从茹毛饮血的原始社会发展到今天高度发达的文明社会的文化素质教育系列教材——《科学与人类文明》丛书即将出现在我国图书的百花园中。正所谓西湖西子,富有创意。

为了迎接新经济时代的挑战,适应我国向第三步战略目标的迈进,我们急需培养一大批具有创新精神与实践能力的高素质人才,而加强大学生文化素质教育正是在这一背景下提出的。“随风潜入夜,润物细无声。”几年来的文化素质教育工作实践证明,要使文化素质教育工作取得实效,最主要的是必须把文化素质教育贯穿于教学的全过程,融合于教学的各环节。新浙江大学组建后,充分利用其学科优势,重新构建了颇具文化素质教育特色的课程体系,并对文化素质教育选修课程进行了系统规划和建设。即将面世的这套《科学与人类文明》系列教材便是浙江大学文化素质教育课程建设的一项重要成果。

我深信,在我们共同努力贯彻和落实 1999 年全国第三次教育工作会议的精神与中央《深化教育改革,全面推进素质教育》决定的过程中,全国高校的文化素质教育工作将会得到更深入、更全面、更活泼而又更

科学的开展,一定会有更多的创造性、标志性成果面世,国家大学生文化素质教育基地也一定会成为我国社会主义物质文明和精神文明建设的辐射源。

欣喜之余,谨为之序。

2000 年 11 月

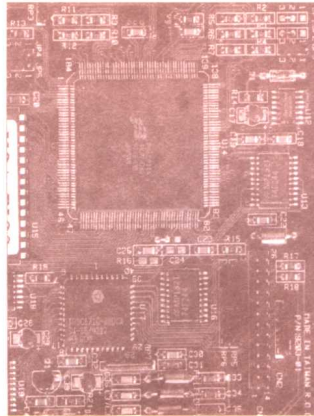
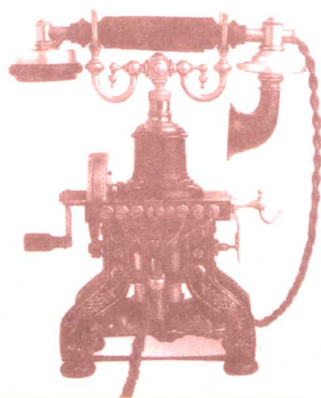
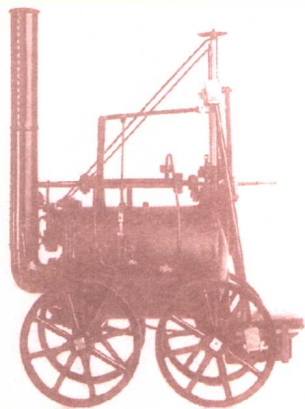
国家大学生文化素质教育基地教材

编委会

主任
副主任
编委

德瑜 富茂成 卯广敏 屏嘉
来恩 程洽永 正彦 维晓
姚楼 颜尹盛 王吴 刘陈

《科学与人类文明》丛书



目 录

绪 论	叶高翔
第 1 章 经典物理学	叶高翔
1.1 天地运动	5
1.1.1 天与地	5
1.1.2 牛顿力学	8
1.1.3 能量动量守恒与时空对称	11
1.1.4 伽利略——现代科学方法的倡导者	14
1.1.5 牛顿科学观	14
1.2 冷热现象	16
1.2.1 温度与热量	17
1.2.2 热力学第一定律	20
1.2.3 热力学第二定律	22
1.2.4 热寂说的终结	24
1.3 电磁波	25
1.3.1 电磁波的产生	25
1.3.2 电磁波谱	31
1.3.3 法拉第和麦克斯韦的学术风格	33
1.3.4 光是一种电磁波	35
1.3.5 三维全息照相	43
参考文献	46
第 2 章 量子物理学	叶高翔
2.1 原子模型	47
2.1.1 原子概念	47
2.1.2 电子的发现	48
2.1.3 汤姆逊原子模型	49
2.1.4 卢瑟福原子模型	50

2.2 量子假说	52
2.2.1 黑体辐射和普朗克量子假说	52
2.2.2 爱因斯坦光子假说及光电效应理论	54
2.2.3 氢原子光谱及玻尔理论	55
2.2.4 德布罗意波粒二象性假说	56
2.2.5 波粒二象性假说的验证	57
2.2.6 对波粒二象性假说的进一步说明	60
2.3 海森堡测不准原理	64
2.4 量子力学与经典物理学的比较	66
参考文献	67

第3章 量子力学——现代高科技的基石之一

叶高翔

3.1 趋向导电极限的超导体	68
3.1.1 超导体的奇异特性	69
3.1.2 超导原理	74
3.1.3 超导时代即将到来	76
3.2 绚丽多彩的激光	78
3.2.1 激光的特性	79
3.2.2 激光原理	80
3.2.3 激光——射向现代社会的各个领域	83
3.3 晶体管——构筑智慧的细胞	84
3.3.1 半导体的物理特性	84
3.3.2 P-N 结	86
3.3.3 晶体三极管——放大人类的智慧	87
3.3.4 晶体管——微电子产业的基本单元	89
3.4 冲刺元器件小型化的极限	89
3.4.1 量子点——人造原子	91
3.4.2 介观环	92
3.4.3 量子波导	92
参考文献	93

第4章 相对论与现代时空观

盛正卯

4.1 狭义相对论的创立	94
4.2 狭义相对论的基本原理	96

4.2.1 光速不变原理	96
4.2.2 相对性原理	97
4.3 狭义相对论的主要结论	98
4.3.1 同时的相对性	98
4.3.2 时间延缓	100
4.3.3 长度缩短	101
4.3.4 质能关系	103
4.4 新引力理论——广义相对论	104
4.4.1 广义协变原理	105
4.4.2 等效原理	105
4.5 广义相对论的主要结论	107
4.5.1 引力大的地方时钟走得慢	107
4.5.2 引力导致空间弯曲	108
4.6 广义相对论的一些预言	109
4.6.1 恒星光的引力偏转	110
4.6.2 雷达回波延迟	111
4.6.3 水星近日点的进动	111
4.7 相对论的其他实验验证及实际应用	112
4.7.1 μ 介子的寿命	112
4.7.2 孪生子效应	113
4.7.3 全球定位系统(GPS)	114
4.8 相对论的时空观	116
参考文献	118

第5章 宇宙之砖 物质结构

盛正卯

5.1 物质结构	119
5.1.1 电子的发现与原子构成	119
5.1.2 越来越多的新粒子	121
5.1.3 夸克(Quark)模型	122
5.2 基本相互作用及其统一	124
5.2.1 四种基本相互作用力	124
5.2.2 奇妙的规范对称性	126
5.2.3 标准模型	127

5.3 原子能及其应用	128
5.3.1 原子核的结合能	128
5.3.2 原子能的可能释放模式	130
5.3.3 原子能的和平利用	131
5.3.4 核武器及其小型化	133
参考文献	136

第6章 膨胀着的宇宙

盛正卯

6.1 传统的宇宙观及其不足	138
6.1.1 永恒的宇宙与热力学的矛盾	138
6.1.2 夜空为什么是黑暗的——奥伯斯佯谬	139
6.1.3 问题的解决	139
6.2 哈勃(E. Hubble)的发现	140
6.2.1 波的多普勒效应	140
6.2.2 恒星距离的测定	141
6.2.3 哈勃的发现	141
6.3 宇宙的起源	142
6.3.1 大爆炸模型(Big Bang)	142
6.3.2 宇宙哥白尼原理	144
6.3.3 大爆炸模型的观察证据	145
6.4 宇宙的命运	147
6.4.1 宇宙整体的命运	147
6.4.2 恒星的产生与命运	149
6.4.3 神奇的星体——黑洞	151
6.4.4 人类的命运	153
6.5 21世纪宇宙学面临的问题	154
6.5.1 暗物质问题	154
6.5.2 正反物质的不对称问题	155
6.5.3 微观世界与宇宙的统一	156
参考文献	157

第7章 简单性与复杂性的奇遇——非线性物理简介

盛正卯

7.1 非线性系统及其普遍性	158
7.2 混沌的本质	161

7.2.1 虫口模型·····	161
7.2.2 倍周期分岔·····	162
7.2.3 混沌的基本性质·····	165
7.2.4 混沌的应用·····	168
7.3 自然界的几何——分形·····	169
7.3.1 分形维数·····	169
7.3.2 来自简单规律的复杂系统·····	171
7.4 特殊的非线性系统——可积系统·····	171
参考文献·····	173
第8章 物理学在未来科技和社会中的作用 ·····	盛正卯
8.1 20世纪物理学遗留的问题及其展望·····	174
8.1.1 引力量子化与大统一理论·····	174
8.1.2 超高能物理及宇宙起源·····	176
8.1.3 复杂系统的研究·····	177
8.1.4 极端条件下的物理现象·····	177
8.2 物理学在其他自然科学及高新技术中的应用·····	178
8.2.1 物理学与生命科学·····	178
8.2.2 21世纪的计算机·····	179
8.2.3 21世纪的通讯、能源与交通·····	180
8.3 物理学与国防现代化·····	181
参考文献·····	182
第9章 科学与人类文明 ·····	叶高翔, 盛正卯
9.1 重大的发现 重要的提示·····	183
9.2 科学技术与人类文明·····	187

绪 论

作为自然科学的一门重要基础学科,物理学历来是人类物质文明发展的基础和动力;而作为人类追求真理、探索未知世界奥秘的有力工具,物理学又是一种哲学观和方法论。在人类文明发展的漫长岁月中,这门古老而又生机勃勃的学科为我们树立了一座又一座卓越的里程碑。

在古代,物理学的辉煌曾为人类的早期文明作出了突出贡献。其中,四大文明古国之一的中国功劳最为显赫,创造出了许许多多多个世界第一。2 000多年前的《墨经》是人类最早记录光学知识的著作。它以严谨的文字,客观翔实的语言描述了光的直线传播、投影、成象、反射等几何光学的基本原理。约在公元前 300 年,中国人就发现了磁铁矿吸引铁片的现象。公元 11 世纪,北宋大科学家沈括发明了航海用的指南针,并发现了地磁偏角。另外,中国古代在天象观测、日月食预报、弩箭、火炮、石拱桥等方面的杰出贡献也威震全世界,我国在农业、手工业、航海、军事、桥梁建筑等方面遥遥领先于当时的世界水平,在我国和世界文明史上写下了光辉的篇章。在美国首都华盛顿的世界航天博物馆中,至今仍陈列着一幅巨画,画的是我国古代发明的捆绑着火药喷射筒的弓箭。它是现代火箭的前身,是人类飞向太空的起点。

人类近代文明起源于 16 世纪。当时以哥白尼和开普勒为代表的天文学,以伽利略和牛顿为代表的经典力学,以及后来以瓦特和焦耳为代表的热力学导致了人类历史上的第一次工业革命。其中作为动力源的蒸汽机、精确计时的摆钟、度量受热程度的温度计等等,成了这次变革的标志性成果。另外,还引入了速度、加速度、功和能、热量、热功当量、能量守恒等一系列可以精确比较的概念。首次把定量化、精确性、可重复性、理论预言、实验检验等科学的方法作为一种规范引入到自然科学的各个领域,使人类文明跨出了从经验主义到现代科学理论的关键性的一步。在这种实事求是的科学精神的指导下,实验科学的创始人伽利略通过从比萨斜塔上同时扔下两个大小不一的石球的实验,证明了自由落体的运动规律;牛顿建立的万有引力定律和微积分,为发现海王星及其运动轨迹奠定了理论基础并提供了计算方法,其结果与天文观察

数据以惊人的精确度相符合;焦耳以大量精确且可重复的实验数据证明了机械能、电能和热能之间的转化关系,测定了热功当量常数,为能量守恒定律奠定了不可动摇的基础……。这一个个动人的故事有力地证明了近代科学精神的正确性,鼓舞着一代又一代后来的科学工作者。这次史无前例的伟大革命改变了几千年来人类只能用手工劳动获取生活必需品的传统,极大地丰富了商品的种类和数量,使当时的机械加工、交通运输、纺织、航海、采矿等产业得到了迅猛发展。

19 世纪堪称是人类的电磁学世纪。奥斯特、安培、法拉第等人在电磁相互作用、电磁感应等方面的划时代重大发现奠定了现代电工学的基础,使人类在工农业生产中大规模利用电能的设想成为现实。19 世纪后期,麦克斯韦以其天才的数学才华,发展了法拉第有关“场”的思想,从理论上预言:电磁波作为一种物质存在于我们的周围。20 多年之后,实验物理学家赫兹历经千辛万苦,以雄辩的实验事实,证明了电磁波的存在。麦克斯韦建立的经典电磁场理论揭示了电场和磁场的内在联系及传播规律,是现代电工学、无线电学、光学、微波和红外技术等领域的基礎,它带动了电子、通讯、电光源、无线电等新型产业的迅猛崛起。经典电磁场理论的成功,是近代科学精神的又一次伟大胜利。它向人类提出了一个准则:一个具有真理意义的科学理论不但要能够解释已有的实验事实,而且要能够预言尚未发现的实验现象,并能被进一步的实验所证实。同时,它告诫我们:从来科学无捷径,切莫急功近利,而要踏踏实实,只有长期艰苦奋斗和不畏千难万险的人才有可能到达光辉的顶点。

步入 20 世纪,物理学得到了飞速发展,人类也因此进入了一个崭新的现代文明时期。普朗克、德布罗意、海森堡、狄拉克、薛定谔等人提出了电磁辐射能量不连续、微观粒子的波粒二象性、测不准原理等一系列革命性的假说,并在此基础上创立了量子物理理论,打开了人类进入微观世界的大门;爱因斯坦则以相对性原理、光速不变原理、惯性质量与引力质量等价原理三个假说为基础,创立了相对论,揭示了在高速和强引力场条件下的奇妙规律,提出了相对时空观,统一了质能关系,奠定了现代宇宙学的基础。以量子力学和相对论为基石的现代科学引发了人类历史上最伟大的第三次工业革命,随之而来的是各种高科技产业,如微电子、激光、超导、核技术、空间技术、信息传播技术等爆炸式的崛起。当 1947 年世界上出现第一只晶体管的时候,当 1960 年人类第一只红宝石激光器诞生的时候,谁也不会想到这些现代物理的成果将会改变整个世界的面貌……。我们有理由相信:今天的物理学研究也必将对人类的

未来产生重大影响。

我们使用移动电话,我们收看卫星电视,我们享受空调房间,我们乘坐音速飞机,我们用核磁共振成像仪检查身体……,可并不是所有的现代人都能理解这种物质享受的来源。如果认为物理学只是写写论文而没有实际应用价值,或因为物理学理论转化为生产力需要一段时间而轻视这门基础学科,那完全是错误的,也是不公平的。今天的“论文”是明天“大规模应用”的基础;今天的“理论”将导致明天的高科技产业。由量子力学而导致的第一只晶体管的发明已为人类带来了规模空前的微电子产业,其中的超大规模集成电路技术使计算机、卫星电视、移动电话、各种自动控制器等高科技产品进入现代社会的各个领域成为现实。晶体管的发明者也因此而获得奖励金额为几十万美元的诺贝尔物理学奖,但没有人能计算出这项发明给人类带来的真正价值。我国在1964年首次爆炸成功的原子弹相当于几万吨TNT烈性炸药的能量总和,但没有人能估量出它为我们国家在科技、国防、外交等方面所带来的真正能量值……

作为自然科学范畴的物理学的辉煌成就对人类社会的政治、经济、文化、哲学、艺术等方面也同样产生了巨大的影响,震撼和纯洁着世人的心灵。16—17世纪经典力学的巨大成功改变了人类长期以来对有关天和地的愚昧观念,使地球中心说变得不堪一击。相对论以无可挑剔的严谨推理证明了因果关系不可逆转的深刻原因是光速不可超越,否定了“以太”学说和绝对时空观,使充满辩证唯物论的相对时空观深入人心。现代宇宙学说彻底否定了传统哲学中关于“宇宙在时间和空间上具有无限性”的说法,有力的实验事实已经证明了宇宙在空间上是有限的,在时间上是有始有终的。近几十年来,混沌学研究取得了重大进展。它提醒人们:简单几个原因可以产生极其复杂的结果;相差无穷小的原因也可以导致相差无穷大的结果,真可谓“差之毫厘,失之千里”。从哲学上讲,物理学追求完美,呼唤创新,既以精确、定量且可重复的实验事实检验理论,又以严谨、优美、对称和简洁的理论预言实验结果为主要思维方式。所有这些均已成为现代科学的基本准则,它和那些虚伪、浮夸、伪科学和反科学的言论和行为格格不入。我们曾千遍万遍地听到“要尊重科学”的口号,但要真正做到尊重科学,遵循现代科学的基本准则并不容易。震惊全国的“水变油”骗局就是一个例子。事实上,刚“发明”水变油时,其“成果”并没有得到“精确、定量、可重复、普遍实验证实”准则的检验。然而却有那么多人相信这个“中国第五大发明”长达十多年之久,其原因仅仅是因为“他们说”、“很多人都

相信”、“都已登报了”、“好多杂志已转载了”等毫无验证的传闻,真是令人痛心。应该看到,要使科学精神在当代中国普及并使其深深扎根,任重而道远。

21 世纪,将是人类跨入更高层次文明的时代,物理学也将进入一个新的发展时期,无穷无尽的自然界奥秘等待着人类去探索和发现。目前困扰物理学家的诸多难题,如受控热核聚变、高温或室温超导体、引力波、宇宙暗物质和类星体等等,一旦得到解决,整个世界将再次焕然一新!物理学还将继续被应用到所有自然科学的其他领域。量子力学和生命科学的结合,凝聚态物理和材料科学的交叉,由数学、物理学、地球科学、生命科学乃至社会科学之间的融合而导致的复杂性科学等等,都已成为或正在成为当今世界最具活力的领域。也许有人会说,21 世纪将是生命科学的世纪;也许还有人会说,21 世纪是信息时代等等。但只要认真考虑一下便可发现,几乎所有科学的发展都要以物理学为基础:揭示生命的奥秘必须利用量子力学的基本原理,信息现代化离不开以光速传播的电磁波……。这种依赖关系在 21 世纪不会有丝毫改变。如果认为物理学的辉煌已经过去,那是完全没有根据的。人类对宇宙奥秘的探索和对真理的追求是永无止境的。

本书根据作者近三年来在浙江大学人文社科院、系讲授“物理学与人类文明”课程的讲稿修改和补充而成。根据人文社科专业的特点,我们用尽可能少的数学语言(一般为初等数学)和尽可能多的实际例子,着重介绍几百年来,特别是近一个世纪以来物理学的重大进展,其中包括力学、电磁学、热学、波动光学、量子力学、相对论、现代宇宙学、非线性物理学等内容,并介绍了由此而导致的现代高科技的重大突破,如超导体、激光、晶体管、航天、全球定位系统、量子通讯等等;同时,我们还对科学发展的规律、科学思维方式以及研究方法进行了较为开放但又不失严谨性的阐述,将它们穿插于物理学内容之中,进而上升为一种对人类文明进程具有巨大推动作用的“科学精神”;论述了“科学精神”与现实社会中诸多问题的关系。作者力求把物理学中奥妙无穷的现象和规律与其深层次上的哲学意义结合起来,缩小自然科学与人文社会科学之间的鸿沟。尽管本书中的举例、归纳、推理等均是以物理学的发展为背景,但其结论的适用范围也许可以大大超出物理学领域。盼望本书能为非理工类大学生以及人文社科工作者和管理人员提供一个了解科学知识、把握科学的思维方法、树立科学精神的途径。

第1章 经典物理学

20 世纪以前的物理学,包括牛顿力学、分析力学、热力学、统计物理学、电磁学、电动力学、几何光学、波动光学等,由于它们极其完美地解释并预言了各种宏观低速的物理现象,导致了人类文明进程的大步跨越,因而被誉为“经典物理学”。

1.1 天地运动

在人类文明的初始阶段,由于生产力的极度低下,人们对天和地有一种特有的崇拜和恐惧,诸如“上帝”是一个主宰天地间万物的霸主,“天堂”是一个桃红柳绿、和平富裕的世外桃源,“地狱”乃是一个阴暗恐怖的底层等等。5 000 多年前,中国的河姆渡人就已在他们的装饰品中刻有“双鸟朝阳”图案,从而反映出当时人们对太阳的无比崇拜;2 000 多年前中国的古老传说“嫦娥奔月”则表达了人们对“天堂”生活的向往;同样,欧洲的“上帝”创造人类——亚当和夏娃的故事,也反映了生活在那片土地上的人们对“上帝”万能的信仰。

1.1.1 天与地

很久很久以前,人们赖以生存的“地”被想像成一个巨大的平台,平台四周是无底的深渊。中国古代称这个平台为“天下”。到了 16 世纪,航海业得到了飞速的发展,人们发现:海边远去的帆船会逐渐“下沉”,最后全部被“淹没”在水平线以下,于是人们认识到“地”并不是平的,而应该是球形的。这就是我们共同居住的家园——半径约为 6 400 公里的蓝色地球,她无疑是浩瀚的宇宙中最美丽的星球。

古希腊人对于“天”有自己的看法,他们认为:地的最上方有一“天球”,天球每天由东向西绕地转动一周,众多的星体镶嵌在天球上,唯有 5 颗例外的星

体游荡在天球与地之间,它们均以地为中心绕其转动。后来才知道,古希腊人认为游荡在天球与地之间的这5颗星体在古代中国分别被称为金星、木星、水星、火星和土星。显然,由于当时观测手段的落后,2000年前人类所认识的“天”仅限于太阳系内。

地心说的创始人,古希腊哲学家柏拉图(Plato,公元前427~前347)主张用匀速圆周运动来解释天体运动。他提出:天上的星体代表着永恒的、神圣的、不变的存在,因此它们肯定沿着最完美的轨道以最完善的方式运动;而最完善的运动是匀速圆周运动,因此,它们一定是围绕着地球作匀速圆周运动。柏拉图的地心说思想在人类历史上统治了长达1400年之久,其主要原因是当时的仪器设备不够精确,而且该理论能和人们的直观经验相符合。很难想像,要当时的人们相信他们是生活在一个既有自转,又有公转的高速运动着的地球上,是何等的困难。

然而要证明一个科学理论,仅用柏拉图所说的“肯定是……”,“一定是……”等雄辩词句是远远不够的,它需要客观、精确、可重复实验的证明,还需要严谨数学理论的推导。

直至欧洲文艺复兴时期,波兰杰出的天文学家哥白尼(N. Copernicus, 1473~1543)根据实验事实,率先向地心说挑战,提出了著名的“日心说”。他在《天体运行论》一书中对宇宙的结构是这样描述的:“天球从远到近的顺序如下:最远的是恒星天球,包罗一切,本身是不动的。它是其他天体的位置和运动的参考背景。有人认为,它也有某种运动。但是,我们将从地球运动出发对这种视变化(即人眼直觉到的变化)作另外的解释。在行星中土星的位置最远,三十年转一周;其次是木星,十二年转一周;然后是火星,两年转一周;第四是一年转一周的地球和同它在一起的月亮;金星居第五位,九个月转一周;第六为水星,八十天转一周……。太阳在它们的正中,一动也不动。”哥白尼信奉最完美的秩序,希望能建立简洁和谐的天体几何学,坚信所有行星的排列顺序与它们的轨道周期和轨道半径有紧密的联系,如图1.1所示。

哥白尼“日心说”最明显的优点在于,它对行星的逆行现象给予了一个较为自然的解释,首次提出了相对运动的概念,揭示了地心说的错误在于把对天体的视运动误认为是天体的真实运动。其实,太阳的东升西落并不是太阳绕地球在转,而是地球的自转所造成的。1727年,英国的布莱德雷(F. H. Bradley, 1724~1792)发现光行差现象,证明了地球相对于恒星在转动,太阳相对于其他恒星在小得多的范围内也在运动。1852年,法国的傅科(J. B. L.