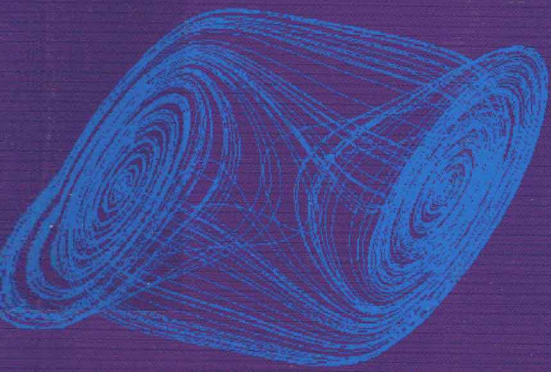


物理学思想教育专题研究

李松柏 / 著



西南交通大学出版社
Http://press.swjtu.edu.cn

物理学思想教育 专题研究

李松柏 / 著

WULIXUE SIXIANG JIAOYU
ZHUANTI YANJIU

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书阐述了物理学发展的主要历史过程、物理学家的典型故事、经典物理学的典型实验以及物理学家的科学研究方法,探讨了物理学各分支学科发展过程中表现出的典型物理学思想,特别是结合现代信息技术,研究了计算物理在大学物理教学中所体现的独特优势和积极作用。全书体现了物理学发展的真实历史背景及其物理学思想,突出了在通识教育平台拓展大学生科学素养的系统性、典型性、案例性和启发性。

图书在版编目(CIP)数据

物理学思想教育专题研究 / 李松柏著. —成都:
西南交通大学出版社, 2011.11
ISBN 978-7-5643-1414-9

I. ①物… II. ①李… III. ①物理学—专题研究
IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 194353 号

物理学思想教育专题研究

李松柏 著

*

责任编辑 李芳芳

特邀编辑 赵雄亮

封面设计 原谋书装

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031

发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 146 mm×208 mm 印张: 7.375

字数: 191 千字

2011 年 11 月第 1 版 2011 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1414-9

定价: 22.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

物理学的发展史充满着两种势力、两种思想、两种观点和两种学说之间的激烈斗争。物理学就是在这个斗争中迂回曲折地发展着的。物理学正是在新旧认识的反复较量中，历史地建立起的一座座丰碑，每一座丰碑里都铭刻着多少人杰的丰功伟绩并蕴含着许多物理思想。因此，我们可以说“物理学发展史是一块蕴藏着巨大精神财富的宝地。”这块宝地很值得我们去开垦，这些精神财富很值得我们去发掘，这些物理思想很值得我们去传承。在人类追求真理、探索未知世界的过程中，物理学展现了一系列科学的世界观和方法论，深刻影响着人类对物质世界的基本认识、人类的思维方式和社会生活，是人类文明发展的基石，在人才的科学素质培养中具有重要的地位。

1999年以来，长江师范学院根据教学应用型大学办学定位，加大了人才培养改革力度，创建了“1+2+1”本科人才培养模式，即1年通识教育+2年专业教育+1年实践教育，实行“学程分段、方向分流、分类培养”，推动人才培养模式由“单一性”向“多样化”转变，倾力培养高素质应用型人才。作为“1+2+1”人才培养模式的基础平台——通识教育，担负着全面提高综合素养、提升学校人才培养核心竞争力的任务。

“1+2+1”人才培养通识教育模式，紧紧围绕“教学应用型大学”办学定位和“高素质应用型人才”培养目标，以马克思关于人的全面发展理论为指导，利用我校文学、理学为主、多学科融合的学科专业优势，集中大学第一年的时间，依托资深书院管理机构，扎实培养大学一年级新生的四类素养（公民素养、认知素养、生存素养、专业素养），夯实学生“成人”、“成长”、“成才”的基础，开发学生自我认知、自我管理、自我学习、自我发展的潜能，实现大学教育与中学教育、通识学程与专业学程、实践学程的“无缝对接”，

使通识教育成为本科人才培养厚重的“奠基石”、高效的“生长剂”，使我校培养的学生具有鲜明的高素质、应用型人才特征。

因此，我们在通识教育平台的认知素养课程模块中设置了《物理学思想概论》课程。根据教育部高等学校物理基础课程教学指导分委员会制定的《非物理专业理工学科大学物理课程教学基本要求》，明确提出了《物理学思想概论》课程目标：以物理学发展过程中的丰富历史材料为主要背景，以揭示物理学内容中体现的物理学思想为主要线索，以专题的教学方式探讨物理学思想教育，以激发学生热爱科学，提高学生的科学素养为课程教学目标。为了达到这一目标要求，我们采用了8次课、16个学时的专题报告，每学期开班2期、4个教学班，修读合格记2个学分。

广义地说，物理学思想是研究物质的运动形式、内在规律和物质基本结构的客观存在反映在人们意识中经过思维活动而产生的结果，其内涵包括了物理学本身的发展建立、物理学家在物理实践过程中的整个思想轨迹、研究方法的形成过程，并蕴涵了丰富的哲学思想。狭义地说，物理学思想是学习物理过程而形成的符合物理体系、物理规律、物理逻辑和物理方法，是物理学知识、物理学能力以及科学、哲学、美学、艺术等方面的综合体。物理学思想既可以用来解决物理问题，也可以用来解决其他问题。随着科学技术的迅速发展，在各学科的交叉领域最容易获得突破性的成果，而物理学思想对这些突破具有决定性作用。大学物理学教学能否培养出具有丰富物理学思想的大学生，主要取决于物理教育工作者是否有相应的教育意识。因此，研究物理学中蕴涵的物理学思想已成为我们教学改革中很迫切的议题，具有深远的历史意义和重要的现实意义。

大学生接受物理学教育的主要目的是提升物理学思想教育和科学素养。一个人的物理学思想越丰富，其物理素养就越高。物理学思想包含最基本的原理、方法、特性等，在大学生物理教学中有目的、有计划、有步骤地渗透物理学思想的教育，使修读过物理学的学生无论将来从事何种职业，都能用物理学的思想方法指导实践并

获得成功，是非常有意义也是非常必要的。

我们已经对我校 2009、2010、2011 级的 30 个非物理学专业的近 4200 名文理、艺术本科生开设了《物理学思想概论》通识教育课程，从经典物理学的兴起、发展到危机，再到现代物理学的发展等 8 个专题，讲解物理学的发展、成绩、人物及典型故事，探讨其中的物理学思想，提高自己对物理学思想的认识、理解能力。在研究过程中，我们充分吸取和引用了众多学者的观点、看法，可以说，我是站在巨人的肩上传承着物理学历史，讲授着物理学思想，在此我向各位作者表示衷心的感谢！向西南交通大学出版社的领导和老师表示诚挚的谢意，感谢他们的知遇之恩！在自己的教学成长过程中，离不开长江师范学院物理学与电子工程学院全体同仁的亲切关怀、大力帮助，借此向我的同仁们表示亲切的问候和感谢！

确切地说，本书是我近 3 年来从事《物理学思想概论》课程的讲稿、心得以及校级教学改革课题《在大学物理教学中引入数值模拟培养学生研究性学习能力的研究与实践》开展的研究成果。由于我的写作水平有限，书中存在的不妥之处，敬请批评指正。

李松梅

2011 年 5 月于长江师范学院

目 录

专题一：经典牛顿力学体系的建立与物理学思想	1
1.1 天文学的革命	1
1.2 开普勒的科学思想方法	5
1.3 伽利略对经典力学的伟大贡献	6
1.4 伽利略的科学思想方法	14
1.5 牛顿与经典力学体系的建立	16
1.6 牛顿力学的历史意义	23
1.7 牛顿的科学思想方法	27
1.8 牛顿三定律的因果观思想	32
1.9 牛顿三定律的公理性思想	36
1.10 牛顿的绝对时空观思想	38
1.11 笛卡儿的空间连续区思想	41
1.12 简谐波动的时空周期性思想	43
专题二：热学理论的发展与物理学思想	47
2.1 蒸汽机的发明与卡诺热机	47
2.2 热的本质的认识	49
2.3 热力学基本定律的确立	53
2.4 统计物理学的建立	56
2.5 热力学系统的系统论思想	57
2.6 热平衡态的统计论思想	58
2.7 麦克斯韦速度分布函数的统计因果观思想	59
2.8 热力学三定律的否定观思想	60

专题三：经典电磁场理论的建立与物理学思想	63
3.1 静磁学与静电学的研究	63
3.2 稳恒电流的研究	73
3.3 电流磁场的研究	75
3.4 电磁感应现象的发现	77
3.5 电磁场理论的建立	79
3.6 麦克斯韦的科学思想方法	83
3.7 赫兹的多重性思想	87
3.8 法拉第的力线思想	88
3.9 高斯定理的整体性思想	90
3.10 电磁场的因果观思想	91
专题四：光学的发展与物理学思想	93
4.1 几何光学的建立与完善	93
4.2 对光的本性的探讨	96
4.3 物理光学的发展	97
4.4 光的电磁波理论	100
4.5 诺贝尔奖与光学的发展	102
4.6 光波的相干性思想	105
4.7 光本性的辩证统一思想	108
4.8 光波的相对性思想	110
专题五：相对论的创立与物理学思想	115
5.1 经典物理学的危机	115
5.2 绝对时空观的困难	125
5.3 相对论产生的科学背景	129
5.4 狭义相对论的诞生	136
5.5 广义相对论的建立	141
5.6 爱因斯坦的伟大贡献	142
5.7 爱因斯坦的科学思想方法	143

5.8 狭义相对论的相对时空观思想	146
专题六：量子物理的建立与物理学思想	152
6.1 早期量子论的发展	152
6.2 原子物理学的发展	154
6.3 量子力学的建立	156
6.4 量子力学完备性的争论	158
6.5 普朗克的能量“量子化”思想	162
6.6 爱因斯坦的“光量子”思想	163
专题七：计算物理思想案例分析	166
7.1 计算物理的起源与作用	166
7.2 MATLAB 语言	171
7.3 大学物理教学中引入计算物理思想研究	172
7.4 大学物理中的典型案例	175
专题八：非线性思想与混沌案例研究	185
8.1 非线性物理的认识	185
8.2 非线性物理的主要内容	186
8.3 古代“混沌”思想	187
8.4 混沌的发展过程	191
8.5 大学物理中的混沌思想	197
8.6 激光的混沌思想	216
参考文献	225

专题一：经典牛顿力学体系的建立与物理学思想

公元 14~15 世纪，在欧洲，资本主义的生产方式开始产生并不断得到发展，欧洲各国也逐步从封建社会向资本主义社会过渡。在这种政治经济形势下，思想文化领域出现了席卷整个欧洲的文艺复兴运动。文艺复兴打破了宗教神权对人们的精神桎梏，人的思想、感情和智慧逐渐从教会神学的束缚中解放出来，自然科学因此而得到了极大的进步，并发展成为一些独立的自然科学学科。近代物理学也正是从这时起，经过几代人的不懈努力而渐渐建立与发展起来的。

1.1 天文学的革命

1. 日心说的诞生

哥白尼日心说的提出，是自然科学向神学的第一次庄严的挑战，它标志着自然科学从神学中独立出来，也为天文学的发展、新宇宙观的创立乃至经典力学的体系的建立与发展奠定了思想基础。

哥白尼（N. Copernicus，1473—1543）波兰天文学家，日心说的创立者，近代天文学的奠基人。在大学期间，哥白尼受到当时一位著名天文学家、数学家勃鲁采夫斯基的思想熏陶，对天文学产生了浓厚的兴趣，抱定献身天文学研究的志愿。1491 年，哥白尼被舅父（埃尔门兰德教区的主教）召回协助其工作，并于 1497 年被派往

意大利彼伦亚大学学教会法。在三年半的学习中，他经常跟随彼伦亚大学的数学和天文学教授达·诺法拉（文艺复兴运动的领导人之一，且对托勒玫体系的正确性表示怀疑）研究天文学，并进行天文观测。1497年3月9日，他在彼伦亚观测到了月球遮掩的“毕宿五”（金牛座的主星，距离地球68光年，其直径约为5300万公里，是太阳直径的38倍。由于其内部的氢已经耗尽，“毕宿五”已由主序星演变为红巨星，靠燃烧氦来继续发光发热）的天象，这一观测成为批驳托勒密地心说的重要依据。

1503年，哥白尼回到波兰，并利用业余时间继续研究天文学。他在护卫大教堂的城墙上选了一座箭楼做宿舍，箭楼有门通向城墙顶上一层的平台，作为观测天象的天文台（这地方后来被称为“哥白尼塔”，自17世纪以来被人们作为天文学的圣地保存下来）。哥白尼在此致力于天文观测三十多年。经过三次的重大修改后，哥白尼终于在1543年正式出版了一部不朽的科学巨著——《天体运行论》。

哥白尼的学说不仅改变了人类对宇宙的认识，而且根本动摇了欧洲中世纪宗教神学的理论基础。“从此自然科学便开始从神学中解放出来，科学的发展从此便大踏步前进”（恩格斯《自然辩证法》）。

2. 开普勒定律的发现

近代早期最重要的天文观测工作是由丹麦天文学家第谷·布拉赫（Tycho Brahe, 1546—1601）进行的。第谷出身贵族，从小就对天文学产生了浓厚的兴趣。1576年，第谷在丹麦国王的资助下，在哥本哈根海峡的一个小岛（赫芬岛）的最高处修建了一座比较大的天文台（有四个观象台、一个图书馆、一个实验室和一个印刷厂）。在21年的观测中，第谷对星空进行了仔细的观测，获得了约780颗恒星的准确资料，许多星角位置的观测误差仅为 $2'$ 。然而，第谷并没有完全接受哥白尼的观点，他认为：众行星绕太阳运动，但太阳又率领众行星绕地球运动，而地球是不动的。1599年，因丹麦

国王逝世而失去资助的第谷将部分仪器搬到了布拉格，和一位年轻的助手开普勒继续天文观察研究工作，直到 1601 年逝世。

约翰·开普勒 (Johannes Kepler, 1571—1630) 是德国天文学家。他从小智力过人，但家境贫寒，一直靠奖学金求学，1588 年获学士学位，1591 年获硕士学位。因丰富的想象力和卓越的数学才能被第谷聘请为助手，从 1600 年起在布拉格天文台工作。开普勒利用第谷留下的大量的天文观测资料，在计算火星轨道的过程中，大胆地抛弃了哥白尼的圆周轨道的概念，并于 1609 年完成了著作《新天文学》；又经过 10 年的努力，于 1619 年发表了《宇宙和谐论》一文，因而，开普勒提出了行星三大定律，如图 1.1 所示。

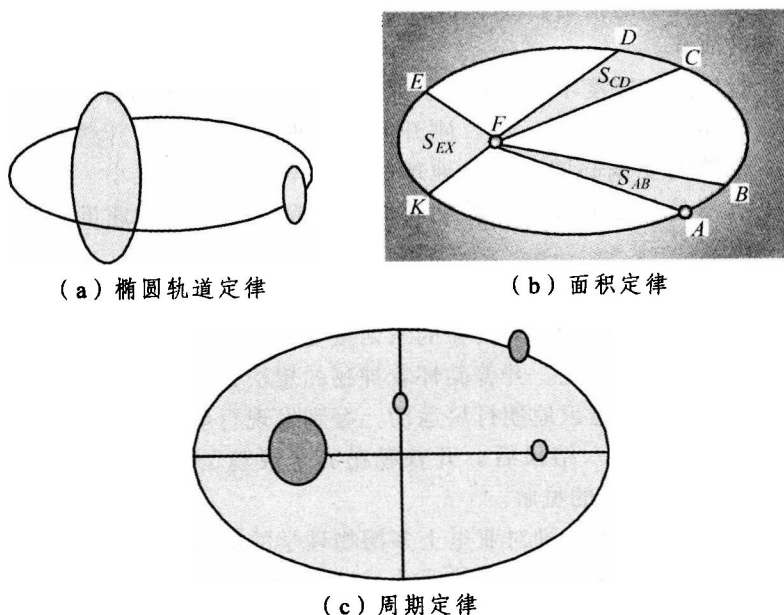


图 1.1 开普勒行星三定律

开普勒是最早用数学公式表达物理定律获得成功的人。从此，数学方程就成为表达物理定律的基本方式。而且，开普勒定律的发

现也为牛顿创立天体力学理论打下了基础。

开普勒最终能在行星运动理论上取得突破性的成就，获益于他能获得的三大遗产：

- (1) 哥白尼的日心体系；
- (2) 第谷的精确观测资料——火星的位置资料；
- (3) 威廉·吉尔伯特 (William Gilbert, 1544—1603) 的《论磁》(On the Magnet 1600)，在书中他认为地球是一个巨大的球形磁体。

抛弃圆：开普勒能够用单个圆构成的模型生成火星的黄纬运动，但是，当他研究这个圆是否也能说明行星的黄纬运动时，他发现有的误差。这个误差对于任何一个第谷的前辈，都是可以接受的，但是第谷观测的精确性高于 $8'$ ，要作出一个理想的解决方法，圆不得不被放弃。

行星运动速度不均匀：为了寻找替代理论，开普勒暂时放开火星，开始研究地球的运动。刚开始研究地球运动时，开普勒就发现，依然需要偏心圆，只是地球的偏心率比火星的更小。这样，为了搞清楚偏心问题，开普勒转而注意起行星的运动速度不均匀这一现象。

行星绕日运动的物理原因：开普勒不把哥白尼体系当成纯粹的数学虚构，而是把它作为实在的东西接受，并进而考察行星绕日运动的物理原因。首先，开普勒怀着神秘的想法，认为行星具有灵魂或意志，它们有意识地使行星运动。等到发现行星的速度与到太阳的距离成反比这一结果后，开普勒抛弃了灵魂的想法，提出了力 (vis) 作用于行星的见解。

开普勒体现了一种对亚里士多德物理学的反叛和继承。在亚里士多德那里，天体运动是自然运动，没有必要作出更详细的说明。把天体运动看做是有力引起的，意味着抛弃以“固有位置”为根基的运动论。

但是，这里开普勒只是把地上的亚里士多德力学推广到了天上。行星的速度和所受力都与到太阳的距离成反比，完全符合运动速度与所受力成正比的亚里士多德运动学规律。

开普勒找到了计算给定时刻的行星位置的方法。据此，从给定的三个位置就能计算出该行星的远日点位置、偏心率。

开普勒挑选了火星的几组三个位置进行计算，发现结果互相不一致。

于是开普勒抛弃了从柏拉图以来把天体看做沿圆形轨道运动的信条，并得出结论说：火星轨道不可能是圆形。

开普勒第一定律（椭圆轨道定律）：为了找到正确的轨道形状，开普勒起先考虑卵形轨道，但计算结果难以与面积定律符合。后来他尝试椭圆，经过冗长的计算和“简直发疯似的思索”，最后他确认，唯有椭圆才是火星的轨道。开普勒再次大胆地把从火星得来的规律推广到所有行星，认为所有的行星分别在大小不同的椭圆轨道上围绕太阳运动，太阳位于这些椭圆的一个焦点上，如图 1.1 (a) 所示。

开普勒第二定律（面积定律）：从太阳到行星的矢径在相等的时间里扫过相等的面积（1609《新天文学》），如图 1.1 (b) 所示。

开普勒的第三定律（周期定律）：开普勒还在《宇宙和谐论》中寻求能揭示行星轨道大小和周期的数学模型，认为所有行星的椭圆轨道的长半轴的三次方与其公转周期的平方之比都相等，如图 1.1 (c) 所示。

哥白尼曾很高兴地发现，一个行星离太阳越远，它的旋转周期越长。开普勒现在知道了确证这个事实的数学规律，即周期定律。

1.2 开普勒的科学思想方法

开普勒关于天文学研究方法的特点，表现在尊重观察到的事实这种客观的态度上。起初他坚持把 5 种正多面体作为解释行星轨道大小的主要工具，后来改为依据第谷的观测数据讨论行星的轨道，在验证了圆形轨道模型与观测数据不一致时，他就抛弃了这一模型，采用了与观测数据吻合的椭圆轨道模型。他在《哥白尼天文学概要》一书中指出，对假说的唯一限制是这些假说必须是合理的。他认为提出假说的主要目的是“说明现象，及其在日常生活中的用途。”如

果一个假说明显违背观察到的事实，则决不允许用一些方便的假说去掩盖这一矛盾。在这个意义上，开普勒的科学属于现代科学，他比任何前人更加恭顺地服从准确而定量的观测证据。

开普勒的另一个特点是他企图以几何和代数的语言即以数学公式来表述物理定律并获得成功。开普勒定律的表述是科学史上物理定律应用于物体运动的第一个例子，也是运动物体动力学和数学紧密联系的第一个例子。自从开普勒的时代起，方程就作为物理定律的数学表达式自然地发展起来。

开普勒的第三个特点是他不仅从事运动学的研究，而且还从事天体动力学的研究。他有这样的正确观点：尽管太阳不在几何学的中心点上，但是依然是物理学意义上的中心。在开普勒看来，支配着行星的力在太阳上，这种力就像光一样从太阳发出。

1605 年，开普勒在给一个朋友的信中写道：“我的目的在于证明：天上的机械不是一种神圣的、有生命的东西，而是一种像钟表那样的机械，正如一座钟的所有运动都是由一个简单的摆锤造成的那样，几乎所有多重运动都是由一个最简单的、磁力的和物质的动力造成的。我也要证明，何以应当用数字和几何来表达这些物理因素。”这一设想虽然是错误的，但是开普勒把可观察的实验现象作为出发点，从事实本身去寻求运动原因，这是近代物理学的主要特征之一。

开普勒定律不仅使得人们有可能比较详细地进一步研究行星运动的“运动学”问题，而且还有利于研究行星运动的“动力学”问题。它与伽利略对地上运动的研究一起为牛顿定律及其世界体系的建立奠定了基础。

1.3 伽利略对经典力学的伟大贡献

伽利略（Galileo Galilei，1564—1642）是伟大的意大利物理学家、天文学家，科学革命的先驱。他融会贯通了数学、物理学和天文学三门知识，以系统的实验和观察推翻了以亚里士多德为代表的、

纯属思辨性的传统自然观，开创了以实验事实为根据并具有严密逻辑体系的近代科学。因此，他被称为“近代科学之父”。他的工作为牛顿理论体系的建立奠定了基础。

1. 伽利略的力学成就

伽利略的运动理论研究是经典力学的奠基性的工作。他在比萨大学任讲师时就开始了这方面的研究，在他写的手稿《论运动》和1632年出版的《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》以及1638年出版的《关于力学和局部运动两门新科学的对话与数学证明》等几本著作中，以确凿的事实、严密的逻辑推理和清晰的观点，批判了亚里士多德的运动学说，阐明了他的运动理论。

他的科学成就，主要体现在以下三部著作中：

(1)《星界信使》(用天文观测的结果宣传日心说)；

(2)《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》(以三人四天对话的形式宣传日心说)；

(3)《关于力学和局部运动两门新科学的对话与数学证明》(以三人四天对话的形式介绍力学成就)。

1632年出版《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》一书中采用了三人对话的形式，其中萨尔维阿蒂(Salviati)是哥白尼学说的拥护者，辛普利邱(Simplicio)是亚里士多德的信徒，沙格列陀(Sagredo)为中立的仲裁人。全书共由四天对话组成：

第一天的内容是批判了亚里士多德学派关于天体的组成和性质与地球不同的学说；

第二天的内容论证了地球的周日运动——自转；

第三天的内容论证了地球的周年运动；

第四天叙述了伽利略的潮汐理论(认为由于地球的自转和公转而产生震颤，激荡海水而产生潮汐)。

在第二天的对话中，说道：“让我们单单想一下地球那么微小，

而恒星宇宙和地球比起来是那么辽阔无垠，地球放在恒星宇宙中只能算沧海一粟。如果我们想象在一天一夜之间整个宇宙自转一下所需的速度，我就没法使自己相信有什么人会认为是宇宙在旋转着，而地球则始终处于静止状态。”

伽利略在用“简单性原则”论证“地动说”时写道：“自然界只要使一个球体环绕自己的中心做适当的运动就可以达到目的，谁会相信自然界会费那么大的劲使无限巨大的天体以不可想象的速度运动呢……如果我们着眼于运动体，不去怀疑假定地球运动比假定宇宙运动要简单得多，并考虑到由此将获得其他许多简便之处，那么周日运动仅仅属于地球而不属于地球除外的宇宙，其可能性就要大得多。这样设想正符合亚里士多德那句至理名言：‘在用很少就可以完成的地方却用了很多，是无谓的’。”

在反驳“如果地球运动，那么竖直向上抛出的物体就不会再落回原地点”时，伽利略运用了他的惯性原理和相对性原理。他说：“石子从船桅杆顶上落下时，不论船是高速行驶，还是静止不动，石子总是落在船上的同一地点。同样的情景也适用于地球。因此你推论不出地球是运动的还是静止的。”

在第三天的对话中（地球绕日公转），伽利略列举了托勒密体系的矛盾和混乱，证明了哥白尼体系的谐调和简明。“对于行星的视运动该怎样解释呢？这种运动一时快，一时慢，有时还会完全停下来，甚至在停止之后还后退一大段路。为了说明这些现象，托勒密引进了许多庞大的本轮，使一个个本轮适应每个行星……但所有这些不方便都可以用地球的简单运动一扫而光。根据托勒密体系，所有行星都有自己的天层，一个天层驾于另一个天层之上……火星有时会运动到地球很近的地方，有时又会飞到太阳之上，离地球很远。这种现象……不认为极端荒谬吗？”

1633年2~6月，罗马宗教裁判所对伽利略进行了长达几个月的审讯和威胁，宣布禁止出版和发行《关于托勒密和哥白尼两大世