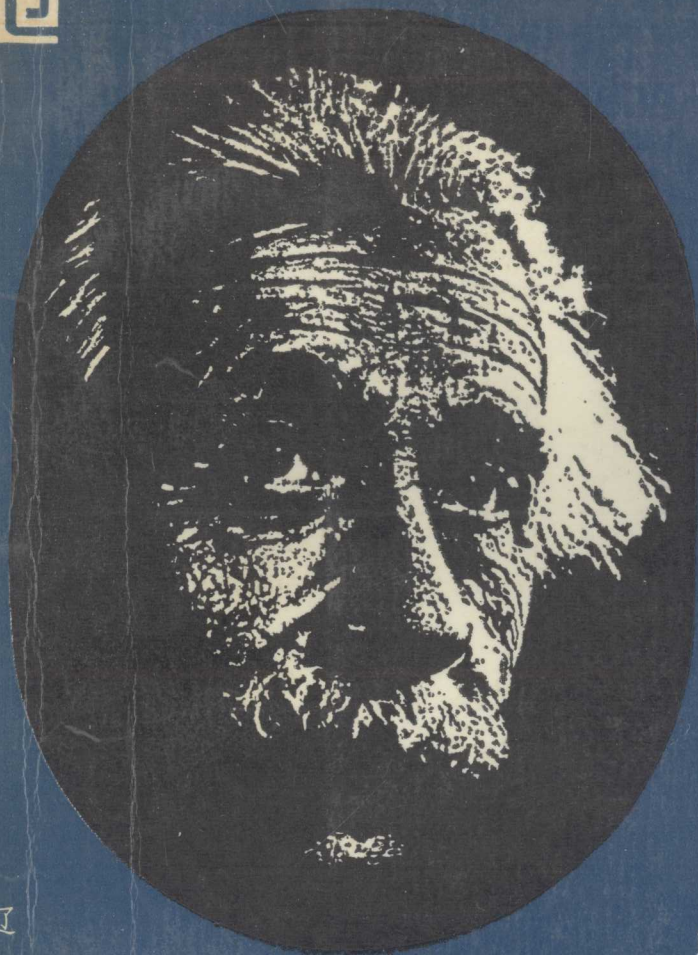


XIANG DULUN YU JINDAI SHIKONG GUAN

相对论与近代时空观

熊荣先 林辉 编

A. Einstein.



辽宁教育出版社



相对论与近代时空观

熊荣先 林 辉 编著

辽宁教育出版社

1987年·沈阳

相对论与近代时空观

熊荣先 林 辉 编著

辽宁教育出版社出版 辽宁省新华书店发行
(沈阳市南京街6段1里2号) 朝阳新华印刷厂印刷

字数: 165,000 开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: $7\frac{1}{2}$

印数: 1—2,500

1987年4月第1版

1987年4月第1次印刷

责任编辑: 王越男 许振学 责任校对: 李晓晶 许振学
封面设计: 安 迪

统一书号: 7371·293

定价: 1.00 元

前 言

相对论是二十世纪最伟大的物理学家爱因斯坦创建的近代物理理论。它的建立引起了时空观的根本变革，并将牛顿力学作为特例包括在其中，是物理学的一场革命。

相对论由狭义相对论和广义相对论组成，狭义相对论是研究空间和时间、物质和运动相互联系的理论；广义相对论是研究引力的理论。它揭示了物质高速运动的客观规律，是近代物理学两大基础理论之一。

本世纪以来，随着科学技术的发展，相对论不仅在高能物理、天体物理等领域得到了应用，而且它正在改变人们对空间和时间的看法，并对现代人类的物质生活产生深远的影响。为了使人们对相对论产生的历史背景、基本原理和主要结论有初步的了解，对近代物理学的发展趋势有基本的认识，我们编写了这本中级读物。它力图以通俗的笔调介绍相对论的基础知识及爱因斯坦创建相对论的基本思想和创建相对论过程中有重要贡献的科学家，同时，提出相对论中一些值得讨论的问题。本书可作为中学、中等师范学校物理选修课的教材或教学参考书；也可供具有高中文化程度的科技工作者阅读。

本书在编写过程中，得到北京师范大学阎金铎教授、吉林大学王明达副教授的大力支持和热心指导，谨此表示感谢。

由于我们的水平有限，书中的错误与不足之处，请广大读者批评指正。

编 者

一九八六年八月 长春

目 录

第一章	经典时空观及其局限性	1
§ 1	旧时空观及其代表人物.....	1
§ 2	新时空观及其代表人物.....	4
§ 3	伽利略相对性原理和伽利略变换.....	12
§ 4	牛顿力学时空观的局限性.....	18
第二章	光速引起的矛盾	23
§ 1	牛顿力学的速度合成公式不适用于光速.....	23
§ 2	双星现象如何解释.....	24
§ 3	电磁波的速度与以太.....	26
§ 4	迈克尔逊——莫雷实验.....	30
第三章	相对论时空理论	39
§ 1	相对论的先驱马赫、洛仑兹、彭加勒.....	39
§ 2	狭义相对论基本原理.....	45
§ 3	洛仑兹变换.....	49
§ 4	同时的相对性.....	54
§ 5	运动方向上长度收缩.....	58
§ 6	运动时钟变慢.....	68

第四章	相对论运动学	78
§ 1	间隔不变性.....	78
§ 2	因果律不会颠倒.....	82
§ 3	洛仑兹收缩是看不见的.....	90
§ 4	速度合成公式与角度变换关系.....	98
§ 5	相对论多普勒效应.....	104
第五章	相对论动力学	113
§ 1	从质量入手修改牛顿力学.....	113
§ 2	牛顿定律的修正.....	118
§ 3	质速关系和同步回旋加速器.....	122
§ 4	相对论质能关系.....	128
§ 5	相对论动量与能量的关系.....	135
第六章	相对论电磁学	145
§ 1	力的洛仑兹变换.....	145
§ 2	两个点电荷间的相互作用力.....	148
§ 3	电与磁的统一.....	160
§ 4	匀速运动电荷的电磁场.....	166
第七章	广义相对论基本原理	174
§ 1	为什么提出广义相对论.....	174
§ 2	惯性质量与引力质量.....	177
§ 3	广义相对论基本原理.....	183

§ 4	广义相对论中的时间与空间	192
§ 5	场方程的建立及其物理意义	195
第八章	广义相对论的实验验证及其它	203
§ 1	广义相对论的实验验证	203
§ 2	牛顿力学、狭义相对论、广义相对论之间的区别及联系	213
§ 3	用广义相对论解释双生子佯谬问题	220
§ 4	相对论还有哪些值得讨论的问题	223
 附 录		
一、	牛顿力学和狭义相对论力学基本概念、公式对比	229
二、	参考资料	231

第 一 章

经典时空观及其局限性

§ 1 旧时空观及其代表人物

什么是“时空观”？简单地说，就是人们对时间和空间的看法，所有的物理现象都是在时间和空间里发生的。比如，“今天晚上六点钟，我在学校里开始上晚自习”。这是一句很平常的话，然而其中已涉及两个最基本的概念，“今天晚上六点钟”是时间，“在学校里”是地点，也就是空间位置。生活中这类例子是很多的，因此我们可以说，人们对物理现象的认识跟他的时空观有不可分割的联系。随着科学的发展，科学的重大变革往往伴随新时空观而产生。从亚里士多德及托勒密的旧时空观开始，到哥白尼、伽利略及牛顿的新时空观大约经历了一千多年的历史，从新时空观到爱因斯坦的近代时空观也经历了漫长的岁月。在讨论近代时空观以前，必须先介绍一下古代和中世纪时期的时空观念。

首先从亚里士多德(Aristoteles公元前384—322)谈起。公元前384年，亚里士多德诞生在富拉基亚的斯坦基拉希腊移民区，他的父亲尼哥马克斯是亚历山大大帝的御医。他曾跟父亲学过医，后来又跟大哲学家柏拉图学习。公元前343

年,亚里士多德被国王腓力召去教十三岁的王太子读书。公元前335年,亚里士多德在雅典创办了一所学校,他在那里教了十二年书。亚里士多德一生的著作有一千部之多,他的研究成果之多,范围之广,是前无古人的。他是西方古代知识集大成者,恩格斯称他是最博学的人。在物理学方面,是他在《天论》一书中首先提出地心说,他认为地球是宇宙的中心,也是物理学的中心。他对宇宙的构成做了一个形象的描述,他说宇宙是封闭的,它由球面天幕包围着,天幕里充满空气、土、水、火以及天体物质。所有的行星、太阳与月亮都位于天幕边界与地球之间,地球又位于宇宙中心,而所有这些天体都围绕地球旋转。亚里士多德的看法是对那个时期观点的系统化。亚里士多德对事物的理解程度也就是这些理论与事实符合的程度。到公元二世纪,古希腊天文学家、地理学家托勒密(C. Ptoleme 90—168)在继承亚里士多德地心说的基础上,完成了自己的宇宙结构学说,后来被称之为“地心说”。

托勒密在《最伟大的结构》一书中,是以月球、水星、金星、太阳、火星、木星、土星,最后是恒星天体的顺序,安排他的地心说宇宙结构的。

托勒密生于埃及,父母都是希腊人,主要著作为《天学大成》,共十三卷,论述了宇宙的地心体系。他通过二十多年的观测和计算,得出了当时所知道的水、金、火、木、土五大行星运动轨道的各项参数,并按照前人关于运动越快的天体离地球越近的规则,排列了日月行星距离地球的顺序。远离地球的地方他认为是神灵居住的天堂,地球座落在宇宙

中心。物体之所以会运动其原因就是它们还没有到达各自的天然位置，他以月球为界把宇宙分成两大部分，把比月球远的称为“月上”，比月球近的称为“月下”。在这两个完全不同的世界里物体的天然位置是不同的。太阳、月亮、星星等“月上”的物体，天然位置是在天球上，因而它们随天球作圆运动。“月下”的物体（地面附近的物体）天然位置是在地球的中心，因此它们都作落体运动。这种解释已经反映了有关太阳、月亮和行星运动的很多事实，能够对当时观测的天体运动，尤其是对行星运动作出了十分精确的说明，能够很好地预测行星的方位，因此有相当长的时间被人们在航海、天文、历法等生产和生活实践中广为采用。托勒密地心说承认地球是圆形的，比远古人们认为大地是平的，上下是绝对的观点进了一步，在这种时空观中上、下失去了绝对的意义，只有相对的意义。在当时的历史条件下，托勒密提出的行星体系的学说，是具有进步意义的。一个有规律运动的行星体系，就是托勒密学说的核心和精华。由于地心说的科学价值和实用价值进一步巩固了这种时空观，直到欧洲文艺复兴之前这种观点还牢固地统治着人们的思想。他写下的一部十三卷巨著《天文集》被看作古代天文学的百科全书。

托勒密地心说的本质错误是视地球为静止不动的宇宙中心，它处于宇宙中特殊的地位。他还认为只有圆运动是天体最完美的运动，因为宗教教义上认为大地是平的，所以托勒密地心说最初曾遭到宗教势力的反对。但把地球置于宇宙的中心这样一个特殊的地位又和宗教教义上的上帝创造世界的学说相符合。因此教会抓住地球居于宇宙中心这一点，按神学

的面貌进行了改造，删去了其中的科学道理和科学方法。教会所采用的这种手法，使地心说变成了压抑和禁锢人们探索自然奥秘的枷锁。由于宗教神学的统治，古代朴素的唯物主义思想被歪曲，形成了由“神”的力量支配着天上和世俗的一切自然观念，同时神的力量也支配着时间和空间。在今天我们可以用已有的知识去批评地心说，然而昨天终归不是今天。在两千多年前亚里士多德及托勒密就敢于对宇宙给出一个统一的解释，敢于主张地球是一个球体，应该承认这是人类认识史上的一次大飞跃，至于教会维护和利用地心说，那是在托勒密死后一千多年的事了，所以托勒密的宇宙学说同宗教并没有什么必然的联系。

从公元前三世纪到公元十四世纪，“地心说”在历史的长河中被沿用了一千多年，而科学的进一步发展，以及对天体运动认识的深化，人们开始怀疑“地心说”的统治地位，这是向地心说提出的挑战，是旧时空观向新时空观过渡时迈出的第一步。

§ 2 新时空观及其代表人物

从十四世纪开始经过两个多世纪，欧洲逐渐从封建社会走向资本主义社会，这个时期被称为“文艺复兴”时期。新兴的资产阶级认为，古典文化长期被宗教和神学扼杀和歪曲了。他们要以古典哲学和自然科学作为反对宗教神学的思想武器。与此同时，杰出的波兰天文学家哥白尼（N. Copernicus）

nicus1473—1543) 所创立的“太阳中心说”(日心地动说), 简称“日心说”, 这一最重要的科学发现, 成了当时打击宗教神学最有力的思想武器。

在托勒密时代, 关于地心、日心问题的争论并不激烈, 到了中世纪, 矛盾逐渐激化, 地心、日心的问题成了争论的焦点, 哥白尼正是在这样的时期诞生的。1473年3月19日, 哥白尼出生在波兰维斯杜拉河畔的托伦城的一个商人家里。从1503年开始他担任牧师的职务。但是哥白尼并没有把全部精力放在宗教职务上, 而是倾注于天文学的研究和观测方面。他三十年如一日, 进行观测和计算, 最后终于完成了他的天体运行学说, 写出了划时代的科学巨著《天体运行论》。哥白尼学说的诞生, 引起了人类宇宙观的巨大变革, 在他的“日心说”体系里, 哥白尼认为, 太阳位于宇宙的中心, 地球和其它五颗行星一样(当时只发现五颗行星)共同绕太阳转动。他说, 太阳好象是坐在王位上, 统率着围绕它转的行星家族。哥白尼在他的“日心说”理论中还很好地解释了: 地球上为什么会有一年四季之分; 为什么会出现昼夜交替; 为什么人们每天都可以看到太阳的东升西落。哥白尼认为, 地球一年公转(地球绕太阳的转动)一周, 由此产生了一年四季季节的变化。同时地球本身还有自转, 由于地球的自转, 才出



哥白尼

现了昼夜交替。它自转的方向是自西向东。这样可解释每日太阳东升西落。哥白尼还认为，地球和月球是不能分开的，是地球带着月球一起围绕太阳转动。他称月球为地球的侍从。所有行星的最外层叫做“恒星天”，所有恒星，都固定在恒星天上。至于恒星天以外是什么等问题，哥白尼却没有说。哥白尼的《天体运动论》是哲学思考、实际观测和数学计算的杰作。它的重要意义就在于，从此地球和人类将从宇宙中心的宝座上跌下来，地球也和其它行星一样围绕太阳一起旋转。人类和地球一起在空间中兜圈子，除了人类本身的考虑外，人在宇宙中不再是重要的了。学说中的这些观点和宗教教义有着不可调和的矛盾。这一点哥白尼是深深懂得的。早在1506年—1512年间，他就确立了“日心说”的观点，并写了《天体运行论》，由于害怕教会的迫害，以致研究成果被扼杀在摇篮中，一直未敢将自己的研究成果公布于世。公元1503年，他发表了关于“日心说”的一个介绍性的论文摘要，简要地叙述了自己的研究成果。他把《天体运行论》藏了三十多年，直到后来，在朋友们的再三敦促和鼓励下，他才决定出版《天体运行论》。公元1543年，当第一本印好的书送到哥白尼手中的时候，他已经奄奄一息了。

在《天体运行论》发表后，“日心说”广泛流传，深受欢迎，被宗教和神学压抑和束缚的思想在这个冲锋号角的带领下活跃起来了。它的出现在当时的社会中产生了不可估量的社会影响，动摇了基督教教义，教会的统治受到了严重的威胁，对此教会的统治者们非常害怕，为了维护他们的统治，教会开始对相信哥白尼学说的人进行残酷的迫害，他们

宣称哥白尼的学说是异端邪说、洪水猛兽，并于1612年2月14日正式发出布告，把《天体运行论》列为禁书。可是科学一旦得到解放，那是任何力量也无法压制的。“日心说”的出现沉重地打击了宗教神学，推动了自然科学的发展。哥白尼“日心说”的最大功绩就在于它依照太阳系结构的本来面目来描写太阳系，即把太阳系的运动由以地球为中心移到以太阳为中心。这是日心学说最本质的优点。但由于条件及认识水平的限制，哥白尼“日心说”也有它一定的局限性和弱点。由于“日心说”沿用了托勒密圆形轨道的思想，一度处境困难。意大利的数学家和力学家伽利略(G. Galilei 1564—1642)是哥白尼日心说的拥护者和宣传者，他勇敢地站了出



伽利略

来。他将自己刚刚发明的望远镜指向了天空。通过长期的观测，他发现月球表面和地球表面一样，有高山和平原，有象火山口那样的环形山。他发现了木星的卫星，它们围绕木星转动，就象一个小小的太阳系。他还发现了太阳的黑子及其移动和变

化，证明了太阳的自转。这些丰富的资料给处在困境中的日心说以最有力的支持。他的代表作是1632年6月出版的《关于两大世界体系的对话》，简称第一部《对话》和1638年出版的《关于力学和局部运动的两门新科学的讨论和数学证明》，简称第二部《对话》。它奠定了近代动力学的理论基

础。他的杰出贡献之一是：一、论证了伽利略坐标系。在运动的描写中他研究了运动为什么会发生，给出了关于距离和时间概念的确切的数学形式。法国数学家和物理学家笛卡尔（R.Descartes 1596—1650）创立了一种数学框架—坐标系，在运动学中可以用它来描述质点的位置。哥白尼是第一个把坐标系移到太阳上的，从而提出了坐标系的变化对所研究的运动过程的影响问题。伽利略高度评价和论证了哥白尼体系的优越性，所以科学界一致公认把与太阳系中心相联结的坐标系称为伽利略坐标系。二、建立了力学相对性原理。伽利略在他的第一部《对话》中非常详细地描述了，当一条大船以任意速度作匀速直线运动时，船舱里发生的力学现象，成功地论证了古典力学的相对性原理。他说“把你和一些朋友关在一条大船甲板下的主舱里，让你们带几只苍蝇、蝴蝶和其它小飞虫，舱内放一只大碗，其中有几条鱼。然后，挂上一个水瓶，让水一滴一滴地滴到下面的一个宽口罐里。船停着不动时，你留神观察，小虫都以等速向各方向飞行，鱼向各方向随便游动，水滴滴进下面的罐中，你把任何东西扔给你的朋友时，只要距离相等，向这一方向不必比另一方向用更多的力，你双脚齐跳，无论向哪个方向跳过的距离都相等，当你仔细观察这些事情之后，再使船以任何速度前进（即使船运动的相当快），只要运动是匀速的，你将发现，所有上述现象丝毫没有变化。你也无法从其中任何一个现象来确定，船是在运动还是停着不动。……鱼在水中游向水碗前部所用的力并不比游向后部用得大，它们一样悠闲地游向放在水碗边缘任何地方的食饵。最后，蝴蝶和苍蝇继续随便地

到处飞行，它们也决不会向船尾集中，并不因为它们可能长时间留在空中，脱离了船的运动，为赶上船的运动而显出累的样子”。^{*}这个原理，在物理学的发展中所起的作用是巨大的、不可估量的。毫不夸张地说，这个原理是物理学中任何重大进展都必不可少的。

由于伽利略在《对话》中以极其鲜明的观点支持哥白尼的日心说，驳斥了地心说，因此遭到了教会统治者的残酷迫害，《对话》被列为禁书，人被审判和监禁。在他被监禁的过程中，贫病交加，双目失明，在罗马教庭的威逼之下，身患重病，年近7旬的老人当众表示“公开放弃，讥咒和痛恨地说^{**}的错误和异端”。并在法庭代写的“认罪书”上签了字。1642年1月8日他带着怨恨离开了人世。但伽利略做出的不可磨灭的伟大贡献，现在已经成为世人皆知的古代科学的宝贵遗产。经过三百多年的风风雨雨，罗马教皇也不得不承认伽利略对人类历史作出的杰出贡献。1979年11月10日，罗马教皇在一次公开的集会上承认，对伽利略的审判是不公正的，决定为科学家平反！科学巨人伽利略的沉冤昭雪，说明了真理是不可抗拒的！

牛顿（I. Newton 1642—1727）是英国物理学家、数学家和天文学家，1642年12月25日出生在英国北部林肯郡的偏僻农村——乌耳索浦的一个农民家庭里。他不仅是一位伟大

^{*} 伽利略著：《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》第242页，上海人民出版社1974年版。

^{**} 地动说即指日心地动说。