

相对论简介

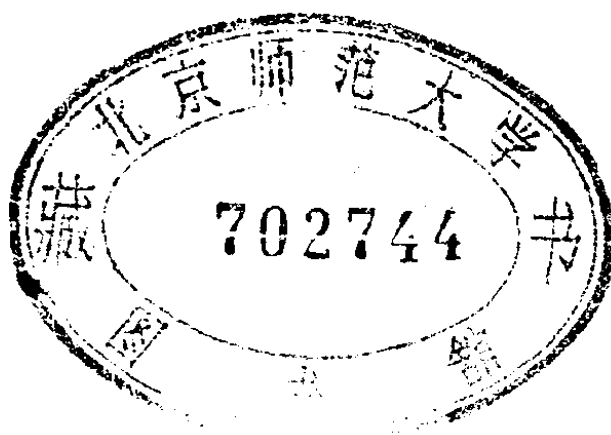
XIANGDUILUN JIANJIE

天津科学技术出版社

相 对 论 简 介

葛葆安 曾 涤

71/155/21



天津科学技术出版社

相对论简介

葛葆安 曾涤

★

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道 124 号

天津新华印刷二厂印刷

天津市新华书店发行

★

开本 787×1092毫米 1/32 印张 3 5/8 字数 73,000

一九八〇年四月第一版

一九八〇年四月第一次印刷

印数: 1—18,800

统一书号: 13212·7 定价: 0.32元

前 言

相对论是本世纪初物理学领域中的伟大发现之一。它同量子力学共同构成现代物理学的两大支柱，奠定了现代科学技术一些重要发展方面的理论基础，使物理学研究进入了一个划时代的新时期。开创这个新时期的主要代表人物之一，就是阿尔伯特·爱因斯坦（Einstein, Albert 1879—1955）。

由伽利略（Galilei 1564—1642）和牛顿（Newton 1642—1727）建立起来的力学理论体系，经过二百多年的发展，到十九世纪后期，由于能量守恒和转化定律奠定的物质变化的基本规律，热力学和统计物理学的建立，法拉第（Faraday 1791—1867）和麦克斯韦（Maxwell 1831—1879）在电磁学方面的新发现，特别是综合了电磁理论的罗伦兹（Lorentz 1853—1928）电子论的完成，因而成就辉煌。在这些成就面前，当时大多数物理学家被胜利冲昏了头脑，产生了停滞不前的思想，认为物理学领域一些原则性问题都解决了，留给后人的只是在细节方面作些补充和修改而已。这种形而上学的观点，助长了唯心主义在物理学领域内的泛滥，妨碍了物理学的发展，使科学受到窒息。然而自然科学的发展，也是不以人们的意志为转移的。物理学研究进程中出现了一系列古典物理学理论根本无法解释的现象：以太漂移实验、元素的放射性、电子运动、黑体辐射、光电效应等等。在新的问题面前，用旧理论框架是解决不了这些矛盾的。年轻的爱因斯坦

则不为传统的观念所束缚，以极大的勇气向统治物理学长达二百年之久的权威思想提出了挑战。他考察了同时性的相对性质，对牛顿的绝对空间和绝对时间观念作了本质性的变革，创立了狭义相对论。这一理论上的重大突破，开辟了物理学发展的新纪元。

本书试图用辩证唯物主义的宇宙观和方法论，说明相对论的发展历史和基本内容，帮助具有中学文化水平以上的科学爱好者，了解开创现代物理学新纪元的科学理论的来龙去脉。为此目的，我们比较系统地介绍伽利略变换、牛顿力学、罗伦兹变换以及黎曼几何学等有关的基本原理，作为相对论思想的来源和发展基础，而且在结尾部分还介绍了相对论的研究现状和可能发展的前景。这样做是希望读者了解爱因斯坦的相对论是在对旧观念批判、继承的基础上发展起来的，决不是他想入非非而碰到的“运气”，同时指出相对论的辉煌成就，也不是意味着物理学在这一领域的终结，它仅仅是一定历史阶段的科学真理。它同其它任何科学一样，永远不会停留在一个水平上。

1905年，二十六岁的爱因斯坦以青年人的勇敢和创新精神，发表了题为《论动体的电动力学》的科学论文。它根据狭义相对性原理和光速不变性原理，建立了狭义相对论。这一理论不仅把牛顿力学作为低速运动理论的特殊形式包括在自己之内，更重要的是，它揭示了作为物质存在形式的空间和时间在本质上的统一性，深刻揭示了力学运动和电磁运动在运动学上的同一性，而且还进一步指出了物质和运动的统一性（质量和能量的相当性），发展了物质和运动的不可分割的原理，并且为原子能的利用奠定了理论基础。

随后，爱因斯坦又经过了十年的艰苦努力，于1915年建立了广义相对论，进一步揭示四维空一时同物质的统一关系，证明了空间的结构取决于物质的分布，而且物理空间，不是平坦的欧几里得几何空间，是弯曲的黎曼空间。根据广义相对论的引力论，爱因斯坦推断光在引力场中不是沿着直线而是沿着曲面传播。这一理论上的预见，于1919年由英国的天文学家从日蚀观察中得到证实，引起了全世界科学界的轰动。1938年他又在广义相对论的运动学问题上取得了重大的进展，即从场方程推导出物体运动方程，由此更深刻地揭示了空时、物质、运动和引力之间的统一性。广义相对论和引力论的研究工作，到六十年代由于实验技术和航天技术的巨大发展而受到新的重视。近年来，在征服基本粒子物理理论和天体物理理论的斗争中，又把相对论推到一个新的发展阶段，将会出现一个重大的变革时期，甚至可能出现一个新的突破。因此科学爱好者了解相对论方面的基本理论和研究方法，对于提高整个中华民族的科学文化水平，向科学技术的现代化进军是十分必要的。

这里还需要指出的一点是：爱因斯坦不但是一位伟大的科学家，而且是一位维护和平和反对法西斯侵略战争的杰出战士。爱因斯坦生前遭到德国希特勒法西斯分子和美国麦卡锡法西斯分子的残酷迫害。在德国他是纳粹分子追捕的对象。他的家被抄，房屋被捣毁，财产被没收，著作被焚烧；他的相对论被宣布为反德的犹太科学。希特勒分子还以二万马克的悬赏企图杀害他。第二次世界大战后，由于他身受法西斯的迫害，又目睹其疯狂残酷的暴行，因此在冷战的年代里，他更积极地参加为保卫世界和平、保卫民主权利的斗

争，因而被美国的法西斯分子指责他为“美国的敌人”、“颠覆分子”等。这只是因为他反对希特勒的暴行，揭露麦卡锡的阴谋，以科学家的良心和正义号召欧洲和美国人民同法西斯势力进行斗争。无独有偶，物以类聚，在七十年代前期“四人帮”继承法西斯的衣钵，祭起了反对爱因斯坦、批判相对论的黑旗，他们利用手中篡夺到的舆论工具，作报告，办专刊，声嘶力竭地叫嚣要打倒爱因斯坦、批臭相对论，大肆散布以“哲学代替自然科学”的谬论，宣扬唯心主义和形而上学欺骗青年。这恰恰暴露了他们是一伙明火执仗的法西斯分子，是阻碍科学和人类进步事业的罪魁，是搞愚民政策毒害青年，妄图篡党夺权的阴谋家、野心家。向广大读者介绍相对论这颗科学上的明珠，对于肃清“四人帮”的流毒和影响，繁荣我国的科学事业是有益的。

从辩证唯物主义的观点看，相对论是一定阶段的对客观事物进行正确反映的科学真理，是无数相对真理的一部分；不但它本身还要继续发展，而且很可能会出现新的理论包括或代替它。相对论是在牛顿力学的基础上发展起来的，它的出现是对科学事业的一大贡献。

我们的水平不高，书中缺点、错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

中国社会科学院哲学研究所柳树滋同志和中国科学院理论物理研究所张元仲同志对本书作了审阅和提供了宝贵意见。对此，表示深切的感谢。

作者于1978年8月

目 录

第一章 相对论出现以前的时间和空间观念	1
一、坐标与空间	1
二、牛顿的绝对空间观念	6
三、惯性和惯性系	11
四、坐标变换与间隔	12
五、伽利略相对性原理与伽利略坐标变换	15
六、绝对时间	18
七、以太	19
八、加速度与力——惯性质量与引力质量	21
九、场	24
十、牛顿力学	25
第二章 狭义相对论的诞生	28
一、十九世纪物理学的辉煌成就	28
二、赫兹的“以太”漂移说和斐索实验	29
三、罗伦兹理论和迈克耳逊——莫雷实验	31
四、罗伦兹和斐兹杰惹收缩	33
五、狭义相对论的诞生	34
第三章 狭义相对论	36
一、相对性原理和光速不变性原理	36
二、相对论的两个假设与伽利略变换	37
三、罗伦兹变换	39
四、狭义相对论的时空观和四维空间	41

五、长度的缩短	45
六、时间的变慢	47
七、质能相当性	49
八、相对论动力学	51
九、相对论与量子力学	52
十、狭义相对论的意义	55
第四章 广义相对论	58
一、欧几里得几何学和非欧几何学	58
二、张量和度规张量	63
三、等效原理	66
四、广义相对论的时——空空间	72
五、空间与时间曲率	74
六、广义相对论的实验验证	76
七、现代宇宙论简介	80
八、广义相对论的意义	85
九、相对论前后时——空观的变化	86
第五章 相对论现状	89
一、狭义相对论遗留下来的问题	89
二、狭义相对论的一些新的实验验证	93
三、快子（超光速粒子）	97
四、快子的能量问题	99
五、探索快子的实验	101
六、快子动力学	103
七、广义相对论和等效原理	104
八、广义相对论与广义相对性原理	106
九、广义相对论与引力波	106

第一章 相对论出现以前的时间和空间观念

在讨论爱因斯坦相对论的发现以前，我们有必要回溯一下古典物理学发展概况，以便了解科学发明创造的承先启后，继往开来的关系。

一、坐标与空间

我们知道力学是研究物质（或物体）在一定的条件下运动变化的科学。物质是客观存在的实体。为了研究的方便，物理学家往往是把“实体”抽象为概念，借助数学工具，研究实体的运动变化本质，找出它们自身的规律，使物质造福于人类的进步与繁荣。

在中学的学习中，我们已经熟悉了象“点”、“直线”、“平面”、“距离”之类的概念。在我们没有把这些概念加以抽象化的时候，常常认为是生活常识，不以为然。但是当我们研究物质在空间运动时，就必须把这些概念加以抽象，并给予确切的定义。定义的这些概念，只不过是客观存在实体的抽象代表。例如“点”的概念是指没有大小的抽象点；“直线”的概念是指没有粗细是在空间延伸的截段；“平面”的概念，是指在空间无限延伸的平面。这些抽象的概念

——“点”、“线”、“面”，在我们日常生活中是见不到的。而我们日常见到的是有大小、有粗细、有有限面积的“点”、“线”、“面”。正如我们从来没见过抽象的“人”，而日常见到的是“张三”、“李四”、“王五”。因为人是个抽象的概念。这样抽象了的概念，就是科学的概念。在我们研究自然或社会现象中，这种抽象不仅允许，而且必要。试想，如果没有这样的科学抽象，我们的逻辑思维和形象思维就无法前进一步。而没有这些思维，人类大概还是处于混沌的时代，不可能有今日的进步了。

公元前三世纪欧几里得 (Euclid) 总结了人类抽象思维的一些科学概念和运用一些简单的公理、定义和假设，建立了平面几何学，这是一个伟大的创造，为自然科学的发展提供了不可缺少的工具。同时，也为抽象思维的发展奠定了坚实的数学基础。

由于封建制度和宗教神学对于社会生产力发展的破坏和阻碍作用，自然科学徘徊不前，致使欧几里得几何学沿续了一千八百多年，直到十七世纪初，欧洲资本主义上升时期，新的生产关系促进了生产力的发展，科学随之开始了新的进步。笛卡儿 (Descartes 1596—1650) 把代数学的研究方法应用于几何学，建立起解析几何学。解析几何学，对于研究物体在空间或平面运动的规律，提供了一把非常重要的钥匙，打开了通向现代物理学和数学的大门。解析几何学最基本的概念是“坐标”的概念。即从某一原点 O 作相互垂直(正交)的两条直线 OX 和 OY 。用这两条直线(图1—1) OX (横坐标)和 OY (纵坐标)作轴线，这样建立起来的坐标系称之为笛卡儿坐标系。在这个坐标系所规定的平面上任意一点 P 的位置，

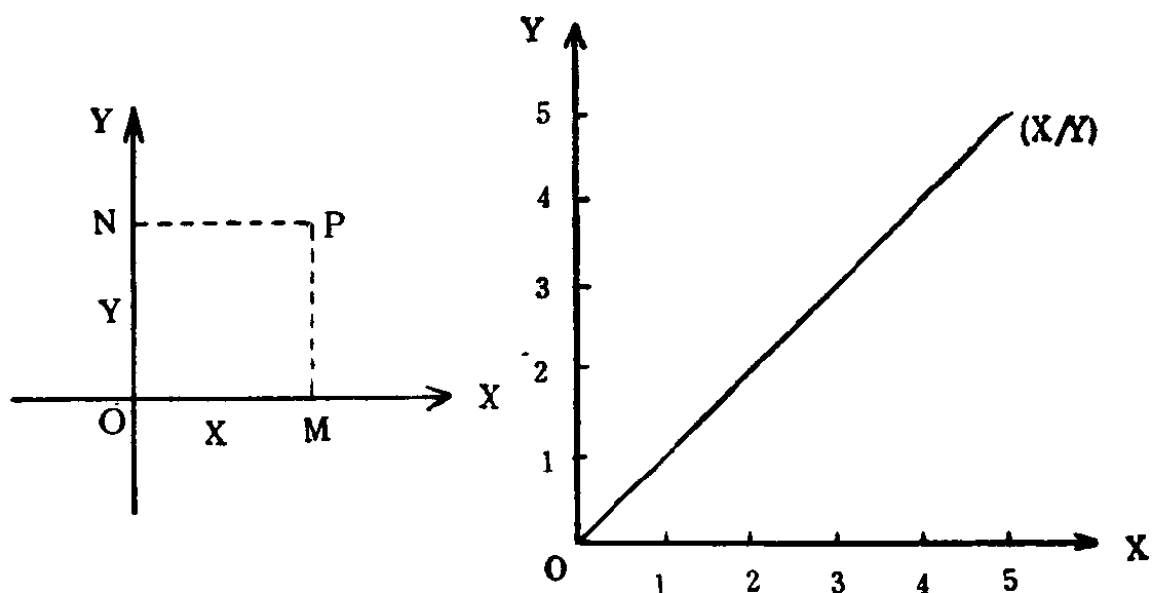


图1—1

图1—2

可由在坐标轴 OX 上 OP 的投影 $OM(X)$ 和坐标轴 OY 上 OP 的投影 $ON(y)$ 来确定。 x 和 y 这两段长度称之为 P 点的坐标，通常用 $P(x, y)$ 表示。这样，由于 x 和 y 之间的对应关系不同，形成了在 XOY 平面上的各种不同的曲线。例如 $x/y = \text{常数}$ ，在坐标图上合于这个关系的各点的连线，是一条直线(图1—2)；如果 $x/y^2 = \text{常数}$ ，是一条抛物线(图1—3)，等等。由于运用代数学方法处理几何学问题的成功，产生了解析几何学，使数学的研究和应用向前推进了一大步。也解决了物理学中许多不能解

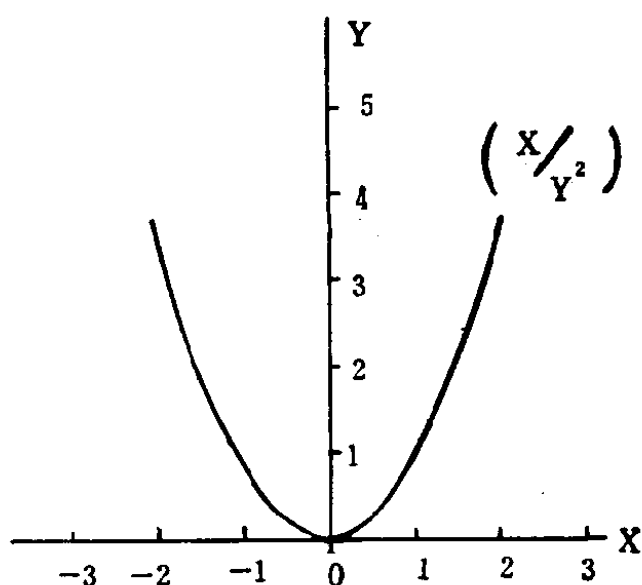


图1—3

决的问题，同时简化了一些难度极大的问题的解决方法。

几何学是用来描述客观物体（简称物体，下同）运动过程的一定性质的科学，它运用“点”的概念来实现对这些性质的描述：

包含一个数的点，运用几何学可以确定这个点在直线上的位置；

包含两个数的点，同理，可以确定这个点在平面上的位置；

包含三个数的点，可以确定这个点在空间的位置。

例如点 $P(x)$ ，表示点 P 在坐标轴 X 上的位置(图1—4a)；

点 $P(x, y)$ ，表示点 P 在坐标轴 X 和坐标轴 Y 所规定的平面上的位置(图1—4b)；

图1—4 (a) 点 $P(x, y, z)$ ，表示在坐标轴 X 、坐标轴 Y 和坐标轴 Z 所规定的空间上的位置(图1—4c)。

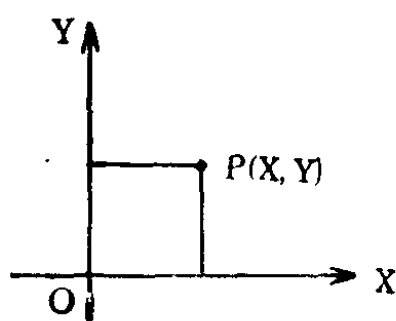
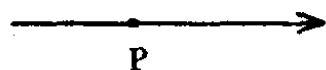


图1—4 (b)

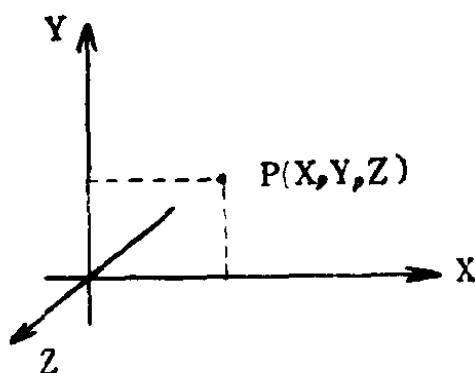


图1—4 (c)

在确定坐标系以后，我们就可以研究物体在空间运动的规律了。笛卡儿坐标系所规定的三维 (x, y, z) 空间，通常称为欧几里得空间。我们所讨论的空间，是客观存在的物质的一种表现形式，运动的物质只有在空间之内，空间与物质

的关系才有研究的价值，否则，就没有意义了。也只有在我们承认运动着的物质是客观的实在以后，我们才能够研究物质间的“接触”、“靠近”、“远离”等与空间有关联的概念。实质上，我们所研究的对象是物体相互位置的关系。通常我们不能抽象地讨论空间，也不能抽象地确定空间各物体的相互位置。只能在一定的前提条件下，讨论空间问题和各物体之间在空间内的相互位置。由于日常生活中确定物体的相互位置时，地球处于非常特殊的重要的地位，以至形成人们非常牢固的成见。认为空间一切物体的位置，都是参照一个物体（参照物体）——地球而言的。如果地球用坐标系来表示，空间内的任意一个位置（或一点），我们把它看成是参照物体坐标系上的一个质点。这就把研究的对象简化了，便于研究物体运动的规律。

这里必须引出关于空间性质的两个概念：

（一）均匀空间

空间各点完全具有同样的性质（即空间没有具有特殊性质的质点）这样的空间，称为均匀空间。

（二）空间各向同一性

空间各点各自的方向完全平权（即空间各点均无自己的优先方向），这种性质的空间，称为各向同一性的空间。

牛顿的力学三定律和万有引力定律，是古典力学的理论基础，是古典物理学的重要支柱，这一点必须肯定。但牛顿在处理科学问题上，是有唯心主义思想因素的，由于时代和历史的局限性，他对于时间和空间的观点是错误的。牛顿认为空间存在一个绝对静止的坐标系（参照物体），一切其它坐标系都将与这个绝对静止的坐标系相比较。在牛顿看来，

宇宙中绝对静止的实体就是上帝！这个虚构的上帝的存在，构成了牛顿的绝对空间和绝对时间观念。这个唯心主义的见解，一直持续到二十世纪初——爱因斯坦狭义相对论出现以前。看来，牛顿对科学上的巨大贡献，并没有把他从中世纪的宗教和神学中解放出来。这个矛盾现象在科学的发展史上是屡见不鲜。即科学家由于积极参加科学实践活动和正确总结前人的劳动成果，有所发明，有所发现，有所创造，有所前进。但是科学家总是不能脱离当时统治阶级的精神和哲学思想影响的，而在世界观上总不免打上阶级的和时代的烙印。

二、牛顿的绝对空间观念

在讨论牛顿的绝对空间观念以前，必须简单的介绍一下古代和中世纪时期的时空观念。由于我们人类的祖先对自然现象的迷惑不解，他们不能理解和解释宇宙物体（包括星球）运动变化的规律和自然界发生的千奇百怪的现象，因而产生了原始的宗教和巫术。统治阶级为了维护自己的统治利益，利用了宗教和巫术。宗教对自然科学的发展产生了极大的危害。宗教神学家认为“神”是永恒存在的，是主宰世界万物的。这种观点的中心思想是，认为地球是永恒不变的中心，大地是静止不动的，一切行星都是围绕地球做完美无缺的运动，即“地球中心论”。由于宗教神学的统治，古代朴素的唯物主义思想受到压抑和禁锢。自然科学窒息了一千八百余年（公元前三世纪到公元十四世纪）形成了由“神”的力量支配着天上的和世俗的一切自然概念，同时“神”的力

量也支配着时间和空间。

从十四世纪末开始，经过十五、十六世纪，在欧洲，是从封建社会向资本主义社会的过渡时期，也就是所谓的“文艺复兴”时期。新兴的资产阶级代表，开始从古典希腊罗马的文化（“古典文化”）中，找到他们可以利用来反宗教神学统治的思想武器，也就是古典哲学和自然科学。他们宣称：这些古典文化长期被宗教教会扼杀和歪曲了，现在他们要打起“复兴古典文化”的旗子，所以叫作“文艺复兴”。

“文艺复兴”时期，最重要的科学发现，也就是当时打击宗教神学最厉害的，是杰出的波兰天文学家尼古拉·哥白尼（Kopernik 1473—1543）的“太阳中心说”。

哥白尼根据多年研究的结果证明：地球不是宇宙的中心，宇宙的中心是太阳，是地球绕着太阳在转动。哥白尼把他的发现写成“天体运行”一书，但他知道这个结论是违反宗教教义的。经过三十多年的踌躇，在他临终时，才将它出版。所以，恩格斯说：“这时候，自然科学也发布了自己的独立宣言，……在自然科学领域内是哥白尼的伟大著作，在这部著作中，他（虽然还是有些胆怯，在三十六年踌躇之后并且可以说是在临终时）向教会的迷信提出了挑战。从此以后，自然科学基本上从宗教下面解放出来了。”* 恩格斯高度评价了哥白尼的贡献。

在哥白尼以前，关于宇宙中心是什么的问题，争论了将近两千年。在古希腊，毕达哥拉斯（Pythagoras 约公元前580—500）学派提出过一种看法，认为宇宙的中心是一团

* 见《马克思恩格斯全集》第20卷，533—534页。

火，而地球、太阳和其它行星都是围绕这中心火而转动的。亚里斯多德（Aristotle 公元前384—322）认为地球是宇宙的中心，月亮、太阳都是围绕地球转动的。公元前270年，希腊化时期，在小亚细亚西岸萨摩斯岛上的阿利斯塔克（Aristarchus 公元前310—230），曾经猜测到地球围绕太阳运动的。这一正确认识的萌芽，被宗教神学扼杀了。公元后二世纪，埃及天文学家托勒密（Ptolemaeus 约90—168）系统地制定了地球中心说，说宇宙的中心是地球，而月亮、水星、金星、太阳、火星、木星、土星依次围绕着地球旋转。托勒密的学说为宗教的上帝创世说所利用，中世纪的经院哲学家就宣扬这种学说，把它定为神学的教条。因此一千多年来，地球中心说是“绝对的权威”；谁要反对它，就是触犯“神”，就是“叛逆”，就要受到残酷的迫害和惩罚。

哥白尼的太阳中心说沉重地打击了宗教神学，推动了自然科学的发展。

十七、十八世纪是自然科学和技术蓬勃发展时期。牛顿从物质的一般运动规律的观点出发，概括了刻卜勒（Kepler, 1571—1630）发现的行星运动定律，创立了天体力学。牛顿的学说在十七世纪到十九世纪中叶以前的整个自然科学发展中占支配地位，影响到各门科学的研究。他认为宇宙中存在着一个绝对的空间，在这个空间里充满着一种具有弹性的惰性媒质——“以太”，因此，存在着一个具有特权的坐标系。它在“以太”介质中静止不动。位于这个坐标系内的观测者能够测量运动物体的绝对速度。

例如，生活经验表明，一个站在铁路旁观测火车运行的人，他很容易以“绝对”的形式观测火车的速度和加速度。