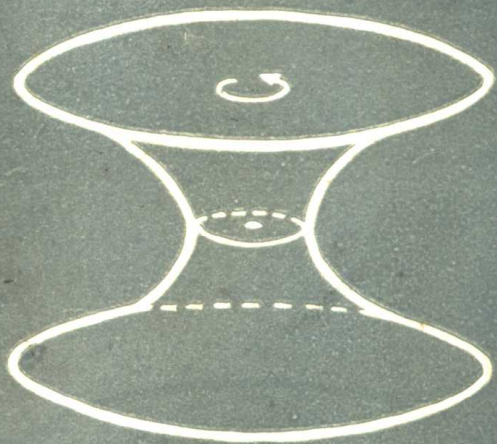


自然科学史话

时空物理纵横

魏 凤 文



北京出版社

自然科学史话

时空物理纵横

——近代时空观的建立

魏 风 文

北 京 出 版 社

自然科学史话
时空物理纵横
Shikong Wuli Zongheng

——近代时空观的建立

魏凤文

•

北京出版社出版
(北京北三环中路6号)
新华书店北京发行所发行
马池口印刷厂印刷

•

787×1092毫米 32开本 16.25印张 333.000字

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

印数 1—1,100

ISBN 7-200-00208-9/N·1

定价: 4.90元

编辑说明

《自然科学史话》，是按数学、物理、化学、生物、地学、天文等分学科编写的。这套《史话》较系统地介绍上述学科的发展历史和某些科学原理或定律的渊源，以及人们对自然界由浅入深、由表及里的认识过程。编写上力求深入浅出，通俗易懂，做到科学性、知识性和思想性的统一，以便于有兴趣探索自然科学发展史的大、中学生和广大读者阅读，特别是帮助广大中学理科教师扩大知识面，更好地做好教学工作。

前 言

很多人都知道爱因斯坦是一位伟大的科学家，他为人类做出了杰出的贡献。仅爱因斯坦在时空物理方面的成就，就使人们对物理世界的认识发生了革命性的变化。他所建立的新的时空观念和时空图象，为人类敲开了从地球、太阳系通往广袤无垠的宇宙的大门，为近代物理学的建立和发展奠定了理论基础。

困难的是这些新的时空观念和时空图象往往隐藏在繁琐而艰深的数学背后，使广大非物理专业工作者很难理解这些稀奇古怪的符号与长串数学式子的物理含意；更为困难的是，由于长期生活在地球这个局部的物理环境中，人们已经形成了一整套传统的时空观念，要想改变对周围世界的印象是多么不容易。

追溯自然科学发展的历史可知，传统的观念已经多次受到巨大的冲击，每一次冲击之后，科学的发展总是处在一个新旧交替的阶段。无论多么缓慢、多么困难，人们总能逐步摆脱旧观念的束缚，最后进步终将代替落后、科学定会战胜愚昧，使科学得到发展，人类得到进步。在哥白尼以前，人们普遍认为地球静止不动，日月星辰环绕地球旋转。地球是宇宙的中心这一观念，持续了长达两千多年之久。在当时，

不迷信这种观念的只是极少数，其中之一就是哥白尼。经过长期的观测与周密的计算，他第一次向世人宣布地球并非静止，日月星辰也并非围绕地球旋转。这不仅遭到神学家和僧侣们的疯狂反对，也为一般人所不理解，因为他和人们的传统观念是那样地不相容。尽管哥白尼的《天体运行论》一度被宣布为异端邪说，科学最终还是证明哥白尼对地心说的批驳是正确的。在哥白尼之后，对传统观念又一次的巨大冲击是由爱因斯坦掀起的。十九世纪初，在总结前人实验成果的基础上，爱因斯坦提出了一整套全新的时空理论，这就是著名的狭义相对论与广义相对论理论。牛顿在力学上的巨大成功，使他赢得了极高的威信，牛顿的经典时空观念又被一般人所熟悉，因为它和人们长期自然形成的时空观念一致。而爱因斯坦的新时空理论以及由它引伸出来一些表面看来稀奇古怪的结论，却非常不易被人理解，和人们的传统观念更是不相容。但是科学的发展再一次向人们展示，爱因斯坦是正确的。哥白尼、爱因斯坦的成功证明，凭直觉或经验形成的某些观念，表面看起来似乎真实，实际上往往是不科学的偏见，只有被实践反复证实的，才是真理。要了解世界本来面目，必须放弃偏见，勇敢地承认真理。

通过这本书，如果能使读者对人类认识时间、空间的历史过程以及近代时空观有所了解，那将是编者的莫大愉快。

目 录

前 言	(1)
第一章 牛顿的经典时空观	(3)
一 时间与空间的初步概念	(3)
二 牛顿以前人类的时空观	(6)
三 时间和空间的几何性质	(8)
四 参考系和测量	(13)
五 伽利略相对性原理和伽利略变换	(21)
六 牛顿的万有引力定律	(33)
七 牛顿的经典时空观	(37)
第二章 爱因斯坦狭义相对论的产生	(49)
一 以太假设	(50)
二 迈克尔逊-莫雷实验	(54)
三 菲涅耳曳引理论	(59)
四 收缩假说	(64)
五 爱因斯坦的解释	(66)
六 光速的测定	(68)
第三章 狭义相对论的基本理论	(79)
一 光速不变原理	(79)
二 相对性原理	(89)
三 间隔不变性	(93)
四 洛伦兹和洛伦兹变换	(98)

五	洛仑兹变换的推论	(105)
六	趣例几则	(115)
七	狭义相对论的实验验证	(134)
八	闵科夫斯基空间	(138)
第四章	相对论运动学	(149)
一	相对论速度合成原理	(149)
二	光行差现象和多普勒效应	(160)
三	加速度的相对论变换	(176)
第五章	相对论力学	(181)
一	质量的相对性	(181)
二	爱因斯坦的质能关系	(194)
三	相对论性动量与动量守恒	(204)
四	相对论性的力与力的变换	(212)
五	相对论性能量与能量守恒	(226)
六	动量与能量间的关系	(230)
七	粒子的碰撞	(233)
八	能量和动量的洛仑兹变换	(238)
九	质心系和对撞机	(244)
十	零质量粒子	(256)
第六章	相对论和电磁学	(271)
一	相对论和电磁学	(271)
二	库仑定律	(273)
三	作用在静止检验电荷上的力	(276)
四	作用在运动检验电荷上的力	(284)
五	无限长直均匀带电导线的场	(295)
六	两条平行载流导线之间的作用力	(303)
七	电磁场的相对性	(305)

八 狭义相对论与张量	(318)
第七章 爱因斯坦的广义相对论原理	(325)
一 牛顿的惯性力和马赫原理	(326)
二 等效性原理	(341)
三 爱因斯坦的引力概念	(360)
第八章 广义相对论的实验验证	(379)
一 水星近日点的进动与光线弯曲	(379)
二 时钟的引力效应	(389)
第九章 黑洞和宇宙学简介	(419)
一 黑洞	(419)
二 宇宙学简介	(451)
第十章 广义相对论在发展中	(497)
一 大统一理论	(497)
二 引力波问题	(505)
三 量子广义相对论的崛起	(507)
参考书目	(509)

牛顿啊，请原谅我！你所发现的道路，在你那个时代，是一位具有最高思维能力和创造力的人所能发现的唯一的道路。你所创造的概念，甚至今天仍然指导着我们的物理学思想，虽然我们现在知道，如果要更加深入地理解各种联系，那就必须另外一些离直接经验领域较远的概念来代替这些概念。

爱因斯坦

第一章 牛顿的经典时空观

- 一 时间与空间的初步概念
- 二 牛顿以前人类的时空观
- 三 时间和空间的几何性质
 - 1 连续性
 - 2 可测量性
 - 3 可衔接性
 - 4 定向性
- 四 参考系和测量
 - 1 参考系和坐标系
 - 2 测量员的故事
 - 3 惯性参考系

五 伽利略相对性原理和伽利略变换

1 伽利略相对性原理

2 伽利略变换

3 伽利略变换的时空观

4 力学定律的不变性

六 牛顿的万有引力定律

1 牛顿的万有引力定律

2 牛顿万有引力定律的困难

七 牛顿的经典时空观

1 牛顿的经典时空观

2 经典时空观的不合理性

第一章 牛顿的经典时空观

一 时间与空间的初步概念

时间和空间是物质存在的基本形式，是物质的固有属性。一切客观过程总是在时间、空间中进行，对时间和空间的认识是人们对物质世界认识的极为重要的方面。

在研究物质和物质运动的规律中，人们逐渐形成了时间和空间的概念。随着对物质及其运动规律研究的深入，时间和空间的概念也在不断地发展和完善。

我们时刻都在和时间、空间打交道，从钟表的嘀嗒声中，从太阳的东升西落中，从植物的萌芽、开花和结果中，从人的生、老、病、死中，从一切生物的、物理的、化学的物质运动变化中，体会到时间和空间的存在。它们无时不在、无处不有。有时，它们似乎简单得连小孩子都懂得；有时，它们又复杂得很、深奥得很，以致很难把它们说清楚。从古希腊和古代中国的哲学家们开始，到中世纪的科学家以及近代象牛顿、笛卡尔、爱因斯坦等人，他们花了毕生的精力去思考、研究这个问题，试图论证什么是时间和空间，直到现在还没有一个令人满意的结果。正如爱因斯坦所说：“一个概念愈是普遍，它愈是频繁地出现在我们的思维之中，

它同感觉经验的关系愈间接，我们要了解它的意义也就愈困难”。

人类感知时间，离不开物质和物质的运动。从一切事物发展的持续性、顺序性与阶段性之中，都可以感知到时间的存在。我们可以设想，在一个没有任何物质存在的空荡荡的死寂世界之中，时间还有什么意义呢？任何物质的一定形态都会持续一段时间，任何物质的运动形式也有这种特性，这就是它们的持续性。大到星系、太阳或地球，小到分子、原子甚至基本粒子都能持续一段时间，这就是它们各自的年龄。时间就是物质持续存在的形式。时间还在物质及其运动变化的阶段性和顺序性中存在。任何物质或物质的任何运动过程都有开端和终了，这就是它们的阶段性。在物质自身运动的各个阶段之间，在不同物质的运动之间也存在着顺序性，没有了阶段性和顺序性，物质世界将是单调的、死板的和一成不变的，在这样的世界中，时间概念也不会出现。可以用一个参量描写事物发展的持续性、阶段性和顺序性，这个一维参量就是时间。

时钟存在于大到天文、地质地理过程，小到分子、原子以及基本粒子过程，如地球的公转与自转，大陆、海洋的变迁，原子核的衰变等。选择某一种事物的变化周期做为标准去比较另一事物的变化所持续的时间，就可以计时。被选做周期标准的就是时钟。比如，普通的时钟是用它单摆的摆动周期为标准，称为1秒。地球钟则是把它自转周期称为1天，用它为标准，计量地球绕太阳公转一周持续的时间，就会得到365.25天。不同的时钟对应不同的计时法，它们的使

用范围与精度彼此不同。

同样，人类感知空间也离不开物质和物质的运动。我们周围的物体都有各自的形状、大小和远近，这些常被称做物质的伸张性和广延性；同时，在不同物体之间，甚至在一个物体的这部分与那部分之间，还表现出顺序性，这些都是物质存在的空间特性。一般来说，可以用三个参量表述事物的空间特性，因而常称空间是三维的。

象测量时间一样，也可以选择一个空间的周期来比较被测空间的大小，例如，利用有标度的尺去测量被测物的长度。

用时钟测量时间或用尺测量长度是生活中司空见惯的事。比如使用一支尺测量火车车身的长度或用一只钟测量这辆火车行驶一段距离所花的时间，并不是什么困难的事。有人以为，只要在测量中遵守一定规程或选择充分精确的计量标准，完全可以使结果达到预想的精度。然而事实并不那么简单，当选择时钟和尺做计量标准时，人们自然希望在测量过程中，时钟和尺能保持不变；同时还希望，在用它们对不同的对象进行测量时，对象也不变，即在无论什么情况下，一米长总是一样，一只时钟的快慢也不发生变化，因为只有这样，才能把它们当做公认的计量标准。然而这个愿望是不可能实现的，这就是时间和空间所具有的奇特性质。

时间、空间和物质的关系密不可分，它们的性质随物质和物质的运动的变化而变化，物质的存在与分布方式，都直接影响到它所在区域中的时间和空间；物质运动状态的改变，也会使时间和空间受到影响，由于世界上物质的分布与

运动状态的千变万化，不存在长度绝对不变的尺与快慢速率不变的时钟，更不存在绝对的时间与绝对的空间。这些，我们将在狭义相对论与广义相对论部分陆续介绍。

二 牛顿以前人类的时空观

时空观是人们对于时间和空间物理性质的认识，时空观的形成是一段长期的复杂的历史过程。

时空观的建立和发展同对宇宙图景的认识密切相关。在远古，人们认为大地是方形的大块，上被圆形的天穹所盖，下又被站在乌龟背上的四支大象所驮。这种图景是人类进入文明时代前，由地面看天空直观反映出来的一种极为朴素的概念，然而，就在这极其粗浅的想象中，人类已经有了对空间上下相对性的认识。

公元前七世纪到公元三世纪是古希腊文化的兴盛时期，在这一时期中，由以思辨为主到进入观测从而建立并发展了天文学。以毕达哥拉斯、亚里士多德和托勒密等人为代表，提出了地心说的著名观点。他们成功地判定天体包括地球都是球形的，同时认为地球位于宇宙的中心恒静不动，众多天体分别镶嵌在上下各天层并在各自的本轮上迺转，而本轮的心又在均轮上围绕地球转动，如图1-1所示。这是进入文明时代以来，人类建立的第一个有一定观测基础的学说。

在这一时期，人们不仅从对物质运动的观察中提炼出时间与空间的抽象概念，同时还对时间与空间的性质做出多方面的阐述。从研究物质运动出发，亚里士多德第一个全面而

深刻地讨论了时间与空间，他从物质运动的属性认识时间的本质，认为“时间属于运动”，时间是“运动的数目”。他又从物质占有空间角度理解空间的本质，认为空间象“容纳物体容器一类的东西”，当它所包容的事物离开或消亡时，空间仍然留下，并不随之消亡。虽然亚里士多德承认了时间、空间和物质及其运动紧密相关，却把时间、空间与物质看成彼此独立并存的客观实在，这一点对后来的绝对时空观代表牛顿等人颇有影响。

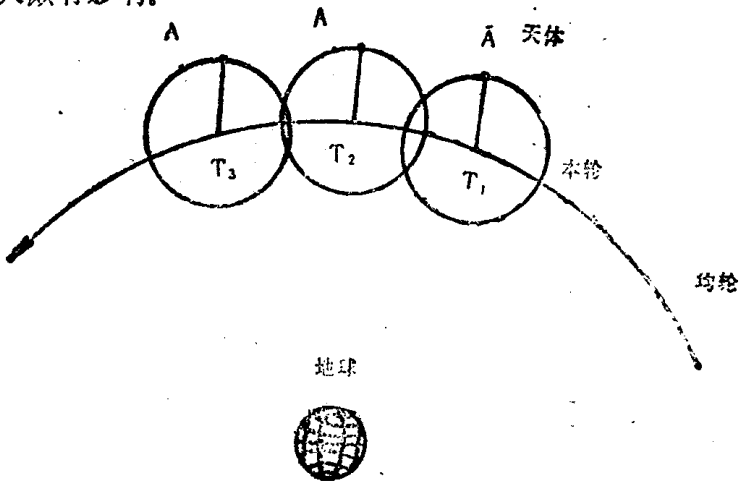


图 1-1

在这一时期，人们还主张宇宙在时空上的无限性。他们认为“有限的东西必定有界”，宇宙没有边界，因而也是无限的。亚里士多德首先从物质运动的永恒性和不灭性论证了时空的无限性，他认为“运动常在，时空也必然常在”，无限性和无界性是等同的。这种无限无边的宇宙模型同样影响了后人，伽利略、牛顿甚至爱因斯坦本人在最初都接受了无限无边的宇宙观点。这种宇宙图景又满足了牛顿万有引力设想的要求，因

为只有无限的时空才可以避免由于万有引力把所有物体吸引到一个中心。

与时空结构有限与无限密切相关的是时间和空间有限可分和无限可分的问题。与古希腊同时期的我国战国时期，在《庄子·天下篇》中提出“一尺之棰，日取其半，万世莫竭”，认为物质是连续可分的，而古希腊的原子论者，如德谟克利特却坚持物质基元的间断性。这两种截然分歧的观点延续到十七世纪，发展成为波动说与微粒说的对立，直到二十世纪，由于粒子物理的进展，才真正建立了时间、空间的量子化观念，在小于 10^{-43} 秒和 10^{-33} 厘米范围内，时间和空间是不可测的，因而时间和空间观念也就失去存在的意义。既然时间和空间是有限的，是否也有起源呢？时间和空间是否从没有时间和没有空间的状态中产生，这是近年来引人瞩目的问题。

三 时间和空间的几何性质

为了更好地理解时间和空间的物理性质，我们首先介绍它们的几何性质。

早在很久以前，古希腊的哲学家们就开始了对于时间和空间性质的研究。为了进一步研究空间的几何性质，几何学家们把空间理想化为一种数学模型。象任何自然科学理论一样，空间的理论也需要模型，在建立空间的模型时，需用不少的数学概念。后来，研究空间的几何性质发展为一门独立的学科——拓扑学。