

物理学基础
出版
只
书

方励之 著
褚耀泉



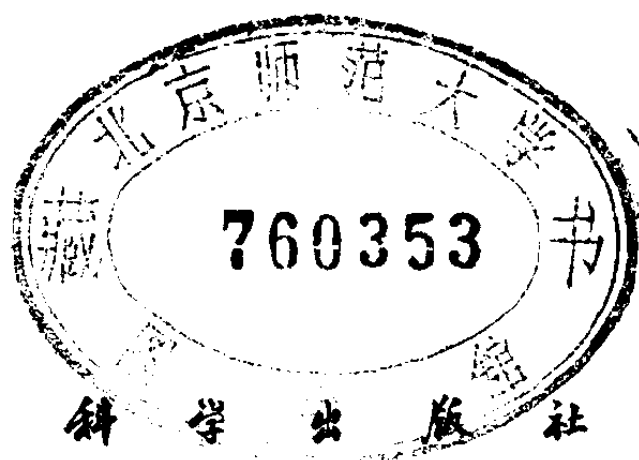
从牛顿定律 到爱因斯坦相对论

科学出版社

从牛顿定律 到爱因斯坦相对论

方励之 褚耀泉 著

5111 61/29



1981

内 容 简 介

本书通俗地介绍了从牛顿力学定律到爱因斯坦相对论的一些主要发展线索。书中阐明了许多重要物理概念,并介绍了有关物理问题的新动态,如时间、空间和运动;光速不变性;狭义相对论和广义相对论;引力波的证实;黑洞;大爆炸宇宙学及奇点等等。

本书可供高中以上文化程度的广大读者阅读。

从牛顿定律 到爱因斯坦相对论

方励之 褚耀泉 著

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1981年4月第一版 开本:787×1092 1/32

1981年4月第一次印刷 印张:4 3/4

印数:0001—23,500 字数:87,000

统一书号:13031·1531

本社书号:2097·13—3

定价: 0.52 元

代 序

1978年8月,中国物理学会在庐山召开年会,不少物理学工作者有感于物理学在提高全民族科学文化水平和实现“四化”中的伟大作用,建议中国物理学会与科学出版社合作,编辑出版一套《物理学基础知识丛书》,有计划有系统地普及物理学的基础知识和物理学的新发展。这一倡议当即得到了广泛的响应。为此,中国物理学会理事会进行了认真讨论,积极热情地支持了这一建议,于是,就在风景绮丽的庐山,在中国物理学会和科学出版社的共同主持下,正式成立了本丛书的编委会,讨论和制定了丛书的编辑方针和选题计划,正式开始了丛书的编辑出版工作。

物理学研究物质的运动规律,物质的结构及其相互作用,它是许多科学技术的基础。从本世纪开始,物理学经历了极其深刻的革命,从宏观发展到微观,从低速发展到高速,由此诞生了量子物理学和相对论,并在许多科学技术领域引起了深刻的变革。本世纪以来,物理学在认识和改造物质世界方面不断取得伟大成就,不断揭开物质世界的奥秘。原子能的利用,使人类掌握了新的能源;半导体科学技术的发展,导致了计算技术和自动控制系统的革命;激光的出现焕发了经典光学的青春;凝聚态物理学的发展,使人们不断创造出许多性

能大大提高的材料……;因此,向广大读者宣传物理学的基础知识以及物理学的新发展,乃是提高全民族科学文化水平和实现“四化”的需要。我们编辑出版本丛书的目的,就是试图在这方面贡献一份力量。

本丛书将着重介绍现代物理学的基础知识,介绍物理学的最新发展,要求注重科学性。我们希望作者发扬创新精神,力求做到题材新颖,风格多样;勇于发表独创性、探索性的见解,以活跃读者思路。在文风上则要求做到准确、鲜明、生动,深入浅出、引人入胜,以说透物理意义为主,尽量少用数学公式。

在编辑出版丛书工作中,我们得到了广大物理学工作者的热情支持和鼓励,还得到老一辈物理学家严济慈、钱临照、陆学善等同志的热情赞助和关怀。美国加州大学热斐尔学院院长吴家玮教授应邀积极参加编委会工作,并约请了美籍学者为丛书撰稿。我们一并在此致以谢意。

《物理学基础知识丛书》编委会

1980年12月于北京

、 前 言

现在，越来越多的历史事实证明，人类文明之所以有今天，是同一些杰出物理学家的工作分不开的。其中尤其以创建了经典力学的伽利略、牛顿及创建了狭义和广义相对论的爱因斯坦最具有代表性。

当我们回顾这几位划时代的科学家的时候，就会发现，虽然他们生活在极为不同的时代，从经典力学到现代物理学也已经发生了巨大变化，但是，在这些人身上的，我们却可以看到许多共同的特征。

首先，他们都是不受成见或传统思想所束缚的探索者。他们的科学研究工作，往往是从那些被认为早有定论、不容怀疑的地方打开缺口的。他们研究的问题，就是我们今天看来，也会觉得是“太”基本了，“太”抽象了。比如，什么是时间？什么是空间？什么是相对？什么是绝对？什么是天体运动的规律？什么是宇宙的起源？等等。这些问题对于人们日常关心的现实世界来说，似乎是另一个世界的事。然而，事实证明，由于在这些“学院式”问题上的进展所带来的技术进步，是不能用任何其他东西代替得了的。

其次，他们都坚持自然科学的研究方法。尽管他们关心的是抽象的问题，但是他们并不进行思辨式的空谈。相反，他

们是采用理论和物理实验或天文观测相对比的方法来考查每一个概念、每一种假说,由此来判断理论的是非成败。

再次,他们大都不仅仅是狭义的自然科学家,而且是具有崇高胸怀的人,例如,爱因斯坦就是一位崇尚理性、崇尚科学和民主的代表。他曾经说过:“人只有献身于社会,才能找到那实际上是短暂而有风险的生命的意义。”⁽¹⁾他还愤慨于那种慑于强权而惧谈科学精神的态度,他说:“试问,要是乔尔丹诺·布鲁诺、斯宾诺莎、伏尔泰和洪保德也都这样想,这样行事,我们会在哪里呢?”⁽²⁾

正因此,他们和他们的理论往往不见容于当时的统治者。伽利略遭到宗教法庭的迫害,爱因斯坦遭到德国法西斯的迫害。可笑的是,甚至在七十年代,不学无术的“四人帮”大搞法西斯文化专制主义时期,相对论还在中国遭到了围剿!尽管这些历史,都已像恶梦一样地过去了,但是,今天回顾一下,不仅对了解物理学的进展是有益的,甚至是必需的。因为,如果我们只了解学术的细节,而不掌握科学的精神和科学之成为真正科学的灵魂,那我们就不可能真正把科学移植过来,让她生根、开花、结果。

这本小册子的目的,是打算介绍从牛顿定律到爱因斯坦相对论的一些主要发展线索。由于篇幅有限,加之不用(或仅少量用)数学工具,所以,我们仅仅想把最基本的思想和概念

(1) 赵中立、许良英编译:《纪念爱因斯坦译文集》,上海科技出版社,1979年版,第61页。

(2) 同上,第385页,

交待清楚。或许这也是主观的愿望,实际上并没有达到,或没有完全达到。很希望读者批评指正。

这本小册子是去年秋天在丛书编委会建议下才开始筹划的。后来,我和褚耀泉同志陆续写出了一个初稿。现在,趁我在意大利讲学期间,又抽出一些时间从头重新改写了一遍。这几天,我住在林琴科学院,窗外一眼看到的就是印在伽利略《对话》一书上的那个林琴科学院的院徽。虽然,这个世界上最老的科学院的徽记已经十分陈旧了,可是,每当写到伽利略的时候,它都不能不使你肃然起敬。明天就是一九七九年三月十四日,即爱因斯坦诞生整整百周年的日子,今天终于赶完了全书,谨以此作为对伽利略和爱因斯坦这两位永远值得人们景仰的科学巨子的纪念吧!

方励之

1979.3.13 于罗马

目 录

第一章 从亚里士多德到牛顿	1
时空观——亚里士多德的宇宙中心——牛顿时空观中的相对与绝对——马赫的批判	
第二章 时间、空间和运动	10
时间的测量——长度的测量——事件和世界线——运动的相对性——速度的合成	
第三章 从经典的速度合成到光速不变	19
光学现象中的疑难——超新星爆发和光速——以太假说——麦克尔逊-莫雷实验——光速是不变的——新的速度合成律——光速是极限——超光速问题—— c 的测量	
第四章 从伽利略相对性原理到狭义相对论	33
萨尔维阿蒂的大船——狭义相对论的两条原理——“同时”是相对的——谁先动手——因果关系	
第五章 钟和尺的相对与绝对	43
牛顿时空观中的时和空——运动钟的变慢—— μ 子的寿命——双生子佯谬——动尺的缩短——汤普金斯先生的错误——洛仑兹变换	
第六章 动力学问题	56

亚里士多德的力学——动者恒动——牛顿的力学规律——牛顿力学与光速极限的矛盾——惯性质量随速度的变化——懒惰=活泼——新时代的一块基石

第七章 从比萨斜塔到广义相对论 65

比萨斜塔上的实验——万有引力——水星近日点的进动—— $\frac{\text{引力质量}}{\text{惯性质量}}$ 的普适性——引力的本性就是

“没有”引力——局部惯性系——什么是引力？——爱因斯坦的引力场方程

第八章 从牛顿到后牛顿 79

后牛顿修正——行星近日点的进动——自转轴的进动——引力红移——光线弯曲——雷达回波的延迟

第九章 从经典的引力坍缩到黑洞 90

再谈强场条件——引力坍缩——强场天体在何处？——脉冲星是一种致密天体——中子星的结构——黑洞——黑洞是不毛的——临界质量——X射线双星

第十章 引力波的证实 106

爱因斯坦的预言——宇宙中的引力波源——韦伯的实验——双星引力辐射阻尼——PSR1913+16——一个理想的相对论天空实验室——引力辐射阻尼的证实

第十一章 从牛顿宇宙到宇宙的膨胀117

从有限有边到无限无边——牛顿无限宇宙的困难
——“白痴”的问题——有限无边的宇宙——宇宙的
膨胀——大爆炸宇宙学——天体的年龄——微波背
景辐射——氦的丰度

第十二章 爱因斯坦之后134

奇点——黑洞的发射——统一场论与亚里士多德的
物元

第一章 从亚里士多德到牛顿

时 空 观

✓ 有一些物理概念是很平凡的。但平凡的概念却往往不是简单的。

比如，“今天早上八点钟我在家里开始看书”，这是一句很普通的话。然而，其中已经涉及两个最基本的概念。“今天早上八点钟”，是表示时间；“在家里”，是地点，也就是空间位置。时间和空间可以说是最常用、最平凡的概念了。可是，若问：究竟什么是时间，什么是空间？却又不容易找到恰当的答案。是的，这是两个很难回答的问题。尽管有不少人都曾给时空下过这样或那样的定义，不过，很少是能令人十分满意的。

✓ 在讨论物理学问题的时候，一种正确的方法可能并不是从概念的“严格”定义出发，而是从分析各种概念之间的具体关系入手。因此，对于时间和空间这两个基本概念来说，重要的问题并不在于它们的“纯粹”定义，而是它们之间的关系，以及它们与物质运动的种种联系。

还是用上面那句话作为例子。“早晨八点”这个时间是以你手上的表或家里的钟作为标准的。更正确地说，是采用北

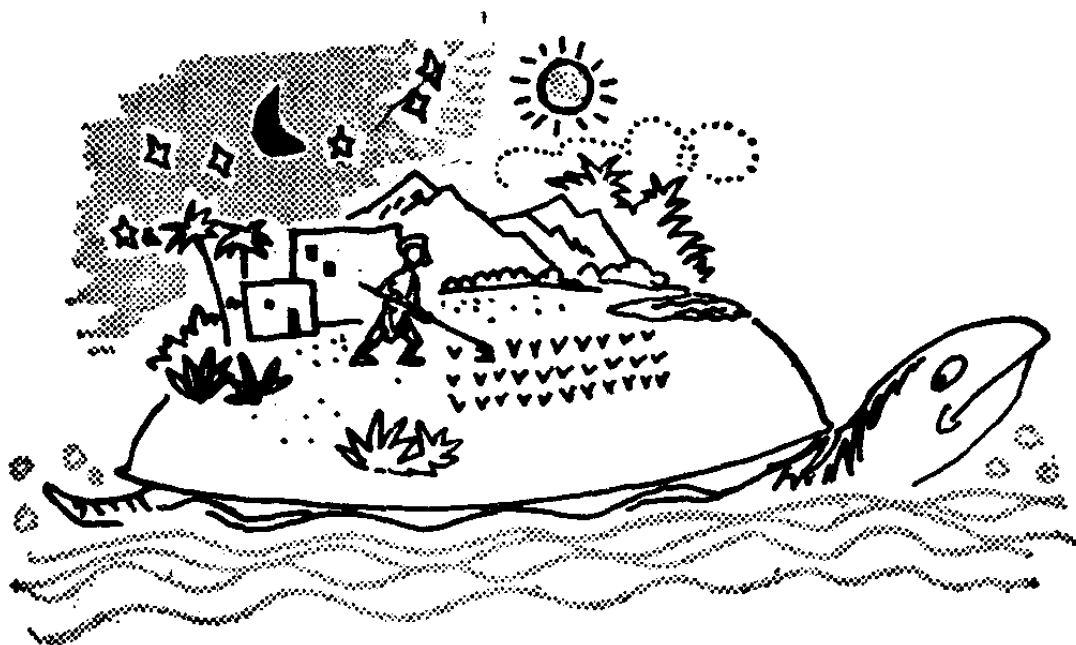
京时间。显然,这个表述是相对的,如果东京时间,它就是九点,而不是八点。这就是时间表述上的一种**相对性**,也就是时间的一种属性。

如果有另外一个人,他说:“哈!我今天也是从早上八点钟开始看书的”,我们立即得到一个结论:这两个人是**同时**,即同在北京时间八点开始读书的。按照“常识”,我们一定会认为,“同时”这个性质是绝对的,而不是相对的。也就是说,如果有两件事,按照一种钟(例如北京时间)来计时,它们是同时发生的,那么,按照其它任何钟来计时,它们也必定是同时发生的。其实,这个习惯性的论断并不是完全正确的。上述两个人,同时开始看书这一点尽管按照北京时间或者东京时间来说都是正确的,然而,对一个正在高速飞行的观察者来说,当他用他的钟来计时,却发现,这两个人并不是“同时”开始看书的。同时性并不是绝对的,而也是**相对的**:对一个观察者来说是同时的两件事,对另一个观察者来说却可以是不同时的。这个“**违背**”习惯的结论就是爱因斯坦的相对论时空观与伽利略、牛顿的经典力学时空观的一个重要区别。

所谓时空观,就是有关时间和空间的物理性质的认识。时空观同自然科学的发展是密切相关的。科学上的重大变革往往伴随着新时空观的产生。甚至,在一定意义下可以反过来说,时空观的变革才是科学上大变革的基本标志。因此,如果我们要想了解在人类的认识史上从亚里士多德到牛顿,又从牛顿到爱因斯坦几次重大的进展,我们首先就应当了解他们各自的时空观。

亚里士多德的宇宙中心

在欧洲,直到中世纪为止,亚里士多德的时空观大体占据主导地位。在亚里士多德的理论体系中,地球位于整个宇宙的中心。整个宇宙由环绕着地球的七个同心球壳组成。月亮、太阳、行星和恒星分别处在不同的球壳上,它们都作完美的圆运动。今天,已经很少有人再相信这种宇宙结构图了。的确,用今天已有的知识去批评亚里士多德,是很容易的事。然而,昨天终归不是今天。在两千多年以前,亚里士多德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形,不能不承认那是人类认识上的一次大飞跃。因为,在远古人的观念中,大地是平坦的,它被安置在一只龟背上,而龟又漂浮于大海之中(见图)。怎么能想像地球是一个球体呢?按照当



时“习惯”的想法会认为:那些居住在我们的对蹠点上的人不

是早就“掉下”去了吗？可见，树立球形的地球观念需要克服相当大的成见所带来的阻力。从时空观的角度来评价，可以说，亚里士多德的时空观是把“上”和“下”这两个方向相对化了。我们看对蹠点的人在“下”，对蹠点的人看我们也是在“下”。也就是空间各个方向是等价的，没有一个方向是具有特别的绝对优越的性质。这就是空间方向上的相对性，提出这个观念，是人类走向科学时空观的重要一步。

在亚里士多德的体系中，物体在宇宙中的位置具有关键的作用。空间的位置是绝对的，地球的球心就是宇宙的中心。每个物体都有各自的天然位置，只要没有阻挡，每个物体都力图到达各自的天然位置。物体之所以会运动，其原因就是它们还没有到达自己的天然位置。亚里士多德把宇宙空间分为“月上”（比月球远）和“月下”（比月球近）两个完全不同的世界。太阳、月亮、星星等“天上”的东西的天然位置是在天球上，因而它们随着天球作圆运动。地面附近的物体的天然位置是在地球的中心，因此它们都作落体运动。这样，在亚里士多德的时空观里，某些位置（例如地球的球心）是非常特殊的。在支配物体运动的自然规律中，这些空间点具有决定性的作用。这种特性，可以叫做空间点的绝对性。用今天的语言来说，亚里士多德的空间，具有各向同性的性质，但却是不均匀的，即空间各点的位置并不是等价的。

牛顿时空观中的相对与绝对

亚里士多德的时空观是在古希腊人对自然认识的基础上发展起来的，它能适应于当时人们对自然现象的解释。随着科学的发展，旧的认识被新的认识所替代，旧的时空观也发展到新的时空观。

以哥白尼—伽利略—牛顿为代表的新科学，在时空观上的特征就是否定了亚里士多德体系中空间位置的绝对意义。哥白尼否定了地球中心是整个宇宙中心这种绝对的意义。伽利略直接了当地提出了相对性原理（在第四章中还要加以详细讨论）。牛顿则打破了“月上”和“月下”的界限，发现苹果落地和月亮绕地球运行是由同一个原因引起的，而并不是由于它们要回到自己的“天然位置”上去。因而，在牛顿的力学方程中没有宇宙中心的地位，任何时空点都是平等的。相对于任何时空点来计算，物理规律都是一样的。这就是新时空观中的新相对性。

然而，路总是一步一步走的，牛顿尽管站在了亚里士多德的肩上，但是在他的力学中仍然引入了绝对静止的空间和绝对不变的时间这两个概念。在《自然哲学的数学原理》一书中，牛顿写道：“绝对空间，就其本性来说，与任何外在的情况无关，始终保持着相似和不变。”“绝对的、纯粹的数学的时间，就其本身和本性来说，均匀地流逝而与任何外在的情况无关。”总之，在牛顿的时空观中，空间、时间和“外在的情况”这

三者都是相互独立的,无关的,空间的延伸和时间的流逝都是绝对的。在这种意义上可以说,在牛顿的体系中仍然含有亚里士多德式的绝对。

把“空间”设想成物体作机械运动的舞台和背景,是一种十分自然的抽象。我们在日常生活中有这样的经验:在一个箱子中可以放进一定数量的东西,这是箱子的一种性质,可以叫做箱子的容积,也就是箱子的空间。这个容积大小或空间大小是与箱子里放什么东西(以及放不放东西)没有关系的。在卖箱子的商店里,总是要标出 $26 \times 20 \times 10$ 等等尺寸,之所以能这样标出,就是以容积是箱子的不受“外在的情况”影响的本性这一点为依据的。进一步我们设想箱子无限地扩大,这就得到了一个与任何特殊的物质无关的、绝对的空间。它就是牛顿的绝对空间。

牛顿是一个经验论者,他不能容忍在他的体系中存在先验的观念。他认为,物理的实在必须是能被感知的。那么,如何来感知他所规定的“绝对空间”呢?牛顿设计了一个理想实验,用来判断哪些运动是相对于绝对空间的绝对运动。这就是著名的水桶实验。若有一桶水,让它做旋转运动。开始时桶壁旋转而水不运动,水与桶壁之间虽有相对运动,但水面却和静止时是一样的,是一个平面。以后水逐渐被桶壁带动并且和桶壁一起旋转,此时虽然水与桶壁之间并没有相对运动,但水面呈凹形,桶边的水面略高,中间略低。因此,即使在水与桶没有相对运动的情况下,我们也可以判断出水桶体系究竟有没有相对于绝对空间的转动。这个判据是:若水面平坦,