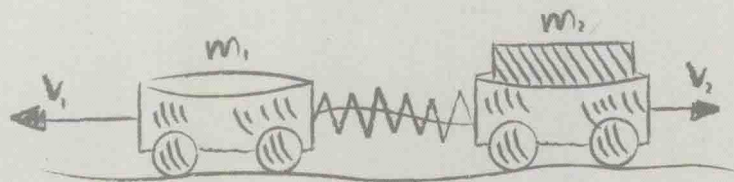


简论物理学 的思想

PHYSICS

方玉田 邢永忠 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

简论物理学的思想

方玉田 邢永忠 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书通过简论时间和空间的演化、试论波粒二象性、光本性认识的回顾、谈谈纠缠态、概念在物理理论中的地位和作用、实验方法在物理学中的作用、论物理理论的完备性等 10 个专题,比较详细地讨论了人类关于自然界的一般思想如何转化成物理学思想,物理学思想与哲学、数学及其他自然科学的思想之间的关系,表明了正是物理学思想的发展才推动着物理学理论不断发展,通过不断发展着的物理学理论才不断深化了我们对物理世界的认识,也为我们改造客观世界提供了强有力的理论武器。物理学的思想才是物理学的灵魂。

本书可供高等学校物理学专业及其相关专业在物理学史的基础上增设有关物理学的思想或物理学的思想史类的课程时作为教材或参考书使用,也可供对物理学的思想感兴趣的读者参考。



I. ①简… II. ①方… ②邢… III. ①物理学 - 思想
方法 - 概论 IV. ①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 305797 号

※

国防工业出版社 出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 7 1/4 字数 165 千字

2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 48.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

物理学发展到今天已经达到了相当高的水平。宇宙本身作为整体也成为物理学的研究对象,更为奇妙的是,正是宇宙论中微观物理学和宏观物理学的相辅相成促进了人类对宇宙认识的不断深化和提高,从而使人类在某种意义上认识到了自身在宇宙中的地位是微不足道的,也为了解人类自身的思想和起源提供了某种线索。

进入 20 世纪,自然科学的其他部门也获得了十分迅速的进步和发展,这促进了人类对宇宙和自身所处环境的认识。20 世纪末至 21 世纪初,生物学的发展更为令人瞩目,克隆羊“多莉”的成功也为解开生命的奥秘提供了一把极为重要的钥匙,从而使整个自然科学文化成为人类文化中极其重要的组成部分,自然科学文化不仅代表了物质文明,也代表了精神文明。今天,自然科学成为了人类社会发展的第一生产力,自然科学的进步也使人类自身极大地摆脱了贫困和疾病的困扰,也使人类有了繁荣昌盛的今天和更加美好的未来。在整个自然科学中,物理学构成了其他一切学科的基础,物理学为其他自然科学的发展提供了极有成效的思想、方法和工具。物理学中的还原论思想直至今日依然在整个自然科学中大行其道就是一个典型的例证。这一切成就的取得又是与物理学思想的不断发展和演化息息相关的。

物理学思想的发展源远流长。人类从野蛮走向文明的第一步,也就标志着物理学思想的端倪。然而物理学思想在人类历史的长河中并不是一开始就是独立发展的,而是与人类的其他思想混杂和紧密联系在一起的。在古希腊科学中,物理学的思想是蕴含在自然哲学之中的,古希腊的科学思想才是物理学思想的摇篮。正是古希腊的科学孕育了现代物理学的枝干,物理学的思想才是物理学理论的灵魂。物理学的进步是与物理学思想的演化发展密切相关的。

物理学的思想史应包括古希腊的物理学思想、中世纪的物理学思想、经典力学的物理学思想、电磁学的物理学思想、相对论的物理学思想、量子论的物理学

思想及现代物理学的思想等许多部分。因此关于物理学思想的研究是一个庞大而又系统的工程。物理学思想的发展又是与哲学思想的发展及其他思想的发展息息相关的。西方科学哲学的研究曾呈现出一种十分繁荣且流派纷呈的局面,科学思想的演替也就成为科学哲学研究的主要内容之一。然而直至今天,在我国,科学哲学的研究仍然主要处于介绍和引进的阶段,所取得的成果也就相对贫乏,关于具体某一门自然科学思想的研究就显得更加贫乏,也就必然导致中国的自然科学研究和发展始终只能步别人的后尘,而没有走出一条自己独立发展的道路。因此自然科学要想在中国得到快速发展,就还需要解决自然科学文化和中国传统文化的关系问题,因此对物理学思想的发展和演化的研究也就显得十分迫切。为此,我们有必要首先来介绍一些著名物理学家和著名哲学家在这一方面的研究成果。这些资料散见在我国已经翻译出版的许多与西方有关的论著之中,总体来讲也是相对贫乏的,更缺乏系统性,把它们分类整理出来也就显得十分困难,我们由于水平有限,也就难于胜任这一庞杂的工作。

物理学思想的研究应包括物理学的本体论即物理学的基础、物理学的方法论、物理学的认识论、物理学理论的演化、物理学与哲学的关系、物理学与其他自然科学的关系、物理学与社会学的关系、物理学与技术的关系等许多部分。爱因斯坦作为著名的科学思想家对物理学的思想进行了广泛的论述,尤其阐述了相对论的物理学思想与其他物理学学科的思想,以及与其他学科(例如数学)之间的关系,给我们提供了很重要的关于物理学思想研究的框架和指南。

我们通过专题的形式讨论了人类关于自然界的一般思想如何转化成了物理学的思想,物理学的思想又是如何通过数学方案或语言才得到恰当合理的表达、如何与数学的思想相联系、如何与其他自然科学的思想相联系的。只有通过对物理学思想的研究才有可能加深对物理学理论的认识和理解,从而才有可能使我国对物理学的研究走出一条自己独立发展的道路。

素质教育是 21 世纪教育教学改革的一面鲜明的旗帜。高等教育为了适应“以全体学生的全面发展为主旨、以造就大批创新人才为目的”的教育教学改革。同时,也使受教育者能够适应科学技术不断突飞猛进、自然科学的各分支学科不断分化而又交叉融合的“知识爆炸”的时代,正在按照“厚基础、宽口径”的教育理念改变着传统的教学内容和教学方法。面对这样的改革需要,如何使物理学专业的学生在有限的学习时间内,较好地掌握物理学的基本内容和

基本方法,又能适应当代物理学飞速发展的需要。我们认为,除了继续开设好各类必修的物理基础课外,在物理学史的基础上增设有关物理学思想或物理学思想史类的课程,不仅可以满足对这一领域具有特殊兴趣的同学的需要,而且可以使其他物理学习者更好地了解物理学革命的发生和深化过程,从而更加深刻地理解物理学的基本内容,掌握其基本方法。

目前已有许多有关物理学思想的专著,并且深受广大物理学习者和教育工作者的喜爱。由于受到课时的限制(36学时),我们在近十几年开设的选修课的基础上,现将有关内容整理成册,期望能对物理学的思想的进一步研究起到抛砖引玉的作用,热诚地期望能与同行们共同探讨。由于我们的知识水平有限,疏漏及不足在所难免,恳请各位读者批评指正。

目 录

一、简论时间和空间的演化	1
二、试论波粒二象性	16
三、光本性认识的回顾	25
四、谈谈纠缠态	37
五、概念在物理理论中的地位和作用	42
六、实验方法在物理学中的作用	51
七、论物理理论的完备性	58
八、物理理论是怎样产生的	67
九、物理实在的演化	88
十、物质概念的演化	96

一、简论时间和空间的演化

在自然科学理论中,空间和时间的概念是基本的和必不可少的,其不仅属于自然科学理论的基本概念(即具有较大的逻辑统一性的概念),也属于原始概念。经典力学主要是研究质点在空间中的运动及其变化规律;生物学是研究生命这个活的物体运动规律的科学,而生命又有其形状结构方面的特征和其诞生、成长和灭亡的过程。自然科学理论中的时间和空间的概念是由日常生活中的时间和空间的概念引申发展而来的。这两个概念本身来源于人类的社会实践,有其经验上的起源。在不同的自然科学理论中,时间和空间的概念又是各不相同的,说明其意义随着自然科学的发展而得以丰富与升华。本章试图通过时间和空间的概念在不同理论体系中的意义,说明其本身的意义是与理论自身的深化过程密切相关的,且随着新的科学理论不断产生和发展,其也得到不断的演化,对其认识也得到不断的深化。

1. 日常生活中的时间和空间

在中国古代就有“上下四方若宇,古往今来若宙”的观点,前面说明了空间,后面说明了时间,然而对这种空间和时间的性质,均没有作出科学现代意义上的说明。也就是说,“宇宙”把时间和空间都包括在内,宇宙论在本质上也就是关于空间和时间的理论。“‘空间’这个大胆的观念,发生在一切科学的几何学之前,并且把我们关于有形物体位置关系的心理概念转化成这些有形物体在‘空间’里的位置的观念使其表示形式直观具体化。通过这种空间概念,人们还得到了这样一种看法:“对位置的任何描述都意味着对接触的描述。”^[1]此处爱因斯坦(Albert Einstein, 1879—1955)简洁地说明了心理的空间观念转化成了一种外在的客观空间观念。对于一个物体,只有通过与其他物体的相对位置才能说明它的确切位置,只有这样我们对于空间的认识才有可能具体化,因而自然界的

任何一个物体(包括自然界本身)都只能处于空间中,处于与人类主体一定的空间关系中,而不是处于空间之外。

在人类主体对外界物体的感知中,这种感知的内感有一种先后次序,这种先后次序即是一种主观的时间序列,这种主观的时间随着主体个体的心理状态差异而有很大的不同。主观的时间通过有形物体的概念和空间的概念导致了客观时间的概念,为了把这种主观时间的观念转化成客观时间观念,爱因斯坦作了如下两个彼此各不相关的假设:

“(1) 按经验的时间序列同‘时钟’(即周期循环的封闭体系)读数之间的联系,引进客观的当地时间。

(2) 对于整个空间里的各个事件,引进客观时间观念,只要按这种观念,当地时间观念就扩充成为物理学中的时间观念。”^[1]

自然界中有许多物理过程可以作为计时的基准,如分子振动或原子谱线的周期、粒子的衰变寿命等,都是计时的自然基准。现代科学技术都采用自然基准(目前所用的国际基准是铯-133原子的基态二超精细能级之间跃迁辐射的周期,这一周期的9192631770倍持续时间定义为1s),它们一般可以称为时钟。因此,人们是用一个特殊的物理过程作为基准去量度其他的物理过程。在不同参照系上可以用同一种物理过程作为计时基准,这样就可以比较不同参照系上的时间。我们现在对这两条作一些分析,有一个观察者位于A地,并且在A地放置一个时钟,如果时钟的读数是3点,这里的3点就是A地的客观的当地时间。因此大家在新闻联播中收听到的“现在是北京时间19点”实质上就是指北京的客观的当地时间。在一个惯性坐标系O中,我们把一个时钟放置于坐标系的原点,该时钟所指示的时间就是坐标系原点的客观当地时间,现在沿惯性坐标系O的x轴放置一系列的时钟,并且这些时钟之间用光进行校准,则当地时间观念就扩充成为物理学中的时间观念。因此,在狭义相对论中,物理学中的时间实质上是指惯性坐标系的时间。大家知道任何一个物体都有其产生、发展和消亡的过程,任何一个物体也只能处于时间中,而不能处于时间之外。

这些关于时间、空间观念的日常观点,说明空间和时间也是一种客观的存在,是构成自然界一切事物的一种框架,自然界的一切事物(包括人类自身)都是处于时间、空间之中的,不能超越空间、时间而存在。

2. 牛顿的绝对时空观

大家知道,人作为一个生命体,要生存就得获取食物。食物就成为一切动物首先必须了解和认识的对象。空间正是作为这种容纳有形物体的容器而存在的,关于有形物体的形状特征及物体之间相对位置的关系首先成为人类主体的研究对象,这正是最早的纯科学——几何学的研究对象。古希腊的数学家欧几里得正是在总结前人成果的基础上首先提出了欧几里得公理几何学体系,几何学的原意是大地测量,欧几里得的几何体系是由点、线、面等基本概念和公理组成的严密逻辑体系,这些基本概念和公理包含着经验的成分,是对经验对象的抽象和理想化,故几何学是人类在社会实践过程中较早地发展和完善起来的。17世纪法国的哲学家、数学家笛卡儿(Rene Descartes, 1596—1650)创立了坐标系,把代数的方法引入几何学,实现了代数学和几何学的统一,因此空间成为一种具有三维性、均匀性、各向同性、连续性和无限性的特征。正是这种经过笛卡儿发展和完善后的欧几里得几何学成为牛顿力学的支柱。

英国著名的物理学家和数学家牛顿(Isaac Newton, 1642—1727)出生于英格兰伍尔索普(Woolsthorpe)的一个小村庄里,在低标准的地方学校中接受教育,而且是一个只对机械设计有兴趣,而没有其他特殊才华的青年人。牛顿刚结束了他的大学课程,学校就因为伦敦地区流行鼠疫而关闭。他离开了剑桥大学,在安静的家乡度过了1665年和1666年。在那里,他开始了在机械、数学和光学上的伟大工作。他意识到了引力的平方反比定律——这是打开那无所不包的力学科学的钥匙。他获得了解决微积分问题的一般方法,并且通过光学的实验,获得了划时代的发现,即像太阳光那样的白光,实际上是由从紫到红的各种颜色光混合而成的。在天文学家哈雷(Edmond Halley, 1656—1742)出资协助的情况下,1687年,牛顿划时代的巨著《自然哲学的数学原理》得以出版。尽管牛顿对于科学的兴趣要比对于数学的兴趣大得多,然而他也是人类历史上杰出的三大数学家之一。牛顿在力学、光学和数学等领域都作出了划时代的贡献。牛顿把笛卡儿的机械论哲学和毕达哥拉斯(Pythagoras of Samos, 前584?—前494?)的数学理论有机地协调、统一起来,并且赋予了机械论哲学更加复杂、深刻的内涵。在牛顿的身上体现了学者和匠人的完美结合。正是由于牛顿的工作,才最终确

立了不同于传统权威或宗教权威的经验权威。由于牛顿在科学和数学上的贡献,在1705年他被授予了爵士的称号。

牛顿在前人研究工作的基础上“集大成”地创立了经典力学体系,该体系成为现代科学意义上的第一个自然科学理论体系,该理论体系在科学实践上的巨大成功使其成为自然科学理论体系创立的典范。该体系是由质点、质量、时间、空间等作为基本概念和牛顿的三大定律及万有引力定律作为公理组成的一个演绎逻辑体系。从中看出时间、空间具有举足轻重的作用,牛顿为了和他的力学体系相适应,提出了绝对时空观。即“牛顿说:‘绝对的、真正的和数学的时间自身在流逝着。’‘绝对空间,就其本性而言,与外界任何事物无关,永远是相同的和不动的。’”^[2]这充分地表明牛顿认为时间是独立于外界事物不断流逝的,均匀地、线性地流逝着,空间是独立于外界事物永远不变的装载物质的容器,且这种空间是均匀、连续、各向同性和静止不动的,物体的机械运动只是在绝对空间中做位置的移动,时间和空间都是无限的,时间和空间二者之间是相互独立、没有任何联系的。时间、空间和物质的运动是相互独立的、没有任何联系。

物理学研究空间和时间里的“事件”。对于每一事件,除了它的空间坐标 x, y, z 以外,还有一个时间值 t ,正是这样就把物理学中的事件完全界定在时间和空间的框架里。那么空间和时间在力学里起什么样的作用呢?爱因斯坦认为,“在牛顿力学里,空间和时间起着双重作用。首先,它们起着物理学中所出现的事件的载体或者构架的作用,事件是参照这种载体或构架用空间坐标和时间来描述的。……空间和时间的第二个作用是作为一种‘惯性系’,惯性系之所以被认为比一切可想象的参照系都优越,就是因为对它们来说,惯性定律必是成立的。”^[1]牛顿力学的运动定律只对于惯性系才能成立,这样并非所有的参照系都处于平等的地位,而是惯性参照系处于特别优越的地位。在牛顿力学中相对于惯性系做匀速直线运动的参照系也是惯性系,在这些惯性系中牛顿运动定律的形式不变,这些惯性系之间的变换服从伽利略变换。设有两个相对做匀速直线运动的惯性参照系 S 和 S' ,当两个参照系的坐标原点重合时将其作为计时零点,并设 S 系和 S' 系的 x 轴和 x' 轴重合,而 y 轴和 y' 轴及 z 轴和 z' 轴互相平行,且 S' 系沿 x 轴正方向以速度 v 运动,则这两个惯性参照系 S 和 S' 之间服从的伽利略变换是

$$\begin{cases} x' = x - vt \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases} \quad (1-1)$$

牛顿的绝对时空观也体现在伽利略变换之中。经典力学认为,空间的量度是绝对的,在两个惯性参考系中,它不随进行量度的参考系而变化;时间的量度也是绝对的,不随进行量度的参考系而变化。此外在空间中做机械运动物体的速度与惯性参考系的选择有关,具有相对性,而加速度却与惯性参考系的选择无关,具有绝对性。设质点相对于某惯性参考系的位置矢量为 $\mathbf{r}$,依据速度和加速度的定义 $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$ 和 $\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2}$ 可知,由于对于同一质点而言相对于不同的惯性参考系的位置矢量 $\mathbf{r}$ 具有相对性,因此速度和加速度也都应该具有相对性。正是伽利略的相对性原理或伽利略变换导致了加速度与惯性参考系的选择无关,因而才使加速度具有了绝对性。

空间的绝对性还体现在另一方面。爱因斯坦认为,“在牛顿的运动方程中,加速度是主要的角色,它不能单独由质点之间随时间变化的间距来规定。只有参照整个空间,牛顿的加速度才能进行设想或者规定。这样,就在空间概念的几何实在性之外,又给空间加上一个能确定惯性的新职能。当牛顿说空间是绝对的时候,他无疑是指空间的这种实在的意义,这使他必须把一种完全确定的运动加给空间,而这种运动状态看来是不能由力学现象完全确定下来的。这种空间在另一种意义上也被认为是绝对的,完全确定惯性的这种作用被认为是自主的,也就是说,它不受任何物理环境所影响,它影响物体,但没有任何事物能够影响它。”^[1]这充分地说明空间强烈地影响和限制着其中的物体,但是其中的物体又不能影响空间自身。空间的实在性除体现在几何的实在性之外,还体现在确定惯性的实在性。时间的绝对性另一方面还体现在同时性的绝对性,“对于一个惯性系的两个确定事件的同时性,也就是这两个事件对于一切惯性系的同时性,这就是我们说的‘古典力学的时间是绝对的’这句话的意义。”^[1]空间的度规是欧几里得度规。很明显,欧几里得度规与时间本身无关。其量度是通过制定米原器来实现的,而米原器的制定本身又是一种共同的约定。现代科学技术采用自然现象中出现的特有长度作为长度测量的基准。例如某条谱线的波长就是这

种自然基准(目前采用的国际基准是氪-86 原子的 $2p_{10}$ 和 $5d_5$ 能级之间跃迁的辐射在真空中波长的 1650763.73 倍,定义为米)。这些自然长度一般可以称为尺度。在不同参考系中可以用同一种自然尺度作为长度基准,这样就可以比较不同参考系上测得的同一物体的长度。时间本身具有一维性,时间的量度是借助于在空间中作重复循环的周期性运动的周期数进行量度的,其量度的单位本身也是一种共同的约定。也就是说,在牛顿的时空观中,长度和时间也是分开并相互独立地进行量度的,正是通过这种量度,牛顿力学才获得了精确性和可靠性,获得了精确预测的功能。

综上所述,牛顿的绝对时空观是与经典力学相应的和配套存在的,也是第一个现代科学意义上的时空观。该时空观的产生是经典力学的形成、发展和完善的必然结果,这种时空观的存在是依附于经典力学而存在的,并通过经典力学获得了存在的意义和价值。绝对时空观表现在三维的空间和一维的时间是相互独立、没有联系的。空间限制其中物质的运动,并对其产生影响,而本身不受空间中物质的影响,时间也是与空间中的物质无关地、均匀地流逝着。空间量度与时间量度也是绝对的,与惯性参照系的选择无关,且时间和空间具有无限性。总之,绝对时空观中的空间、时间和物质的运动之间都是相互独立的,没有任何内在联系。

3. 爱因斯坦的相对论时空观

经典力学取得了巨大的成功,因此经典力学成为物理学领域中的研究纲领和整个物理学的基础。随着科学实践的深入和认识的深化,人们逐渐认识到另一类现象——电现象和磁现象。起初静电学和静磁学的发展是相互独立、彼此无关的。丹麦物理学家奥斯特(Hans Christian Oersted, 1777—1851)在 1820 年发现了电流对磁针的作用,从而导致了 19 世纪中叶电磁理论的统一和发展。英国物理学家法拉第(Michael Faraday, 1831—1879)和英国物理学家麦克斯韦(James Clark Maxwell, 1831—1879)等人企图把电磁学理论建立在经典力学的基础上,然而这种企图导致失败,说明了经典力学不能成为电磁学理论的基础,也无法用经典力学说明和解释电磁现象。正是在此过程中,法拉第提出了场的概念,场也成为一种客观的存在,麦克斯韦又提出了有旋电场和位移电流的概念,

建立了经典电磁学理论。经典电磁学理论与经典力学理论是完全不同的,前者建立在场的基础上,后者建立在质点的基础上,这样物理实在就有空间与时间里的场的物理实在和空间与时间里的质点的物理实在,二者之间完全对立,难于统一,体现了两种完全不同的思维模式。

“尽管有了这些辉煌的成就,但由于以下原因,这些理论还是不能完全令人满意。对于自然规律的表述方式,一切惯性系或者惯性‘空间’都是等效的,也就是说,自然规律对于从一个惯性系到另一个惯性系的转移是不变的。电磁学的实验和光学的实验也相当准确地告诉我们同样的理论。但是电磁学理论的基础却告诉我们,有一种特殊的惯性系必须给以特权,这就是静止的光以太。电磁学理论基础的这种观点太不能令人满意了。难道无法加以修改使它也像古典力学那样保证惯性系的等效性(狭义相对性原理)吗?”^[1]这一段话充分地说明了电磁学理论仅对绝对静止的惯性系成立,并非对所有的惯性参照系都成立,经典力学表征惯性系之间相互转换的伽利略变换对于电磁学理论不再有效,说明了经典力学的绝对时空观对于电磁学理论来说是不适宜的和不恰当的,为了使电磁学理论对于所有的惯性系均成立,即保证惯性系的等效性,爱因斯坦提出了狭义相对论的理论,正是由于狭义相对论的产生、发展和完善推动了时间、空间概念的变革,从而导致了与狭义相对论有关的新时空观产生。正如爱因斯坦所说,“狭义相对论其实就是麦克斯韦和洛伦兹电动力学的系统的发展,然而又指向它本身范围以外。”^[1]狭义相对论的成就,也使经典力学和经典电磁学理论相互协调了起来。

狭义相对论是在以下两条假设的基础上发展起来的:①狭义相对性原理——物理定律在所有惯性系中都是相同的;②光速不变原理——在所有惯性系中,光速等于恒定值 c ,它不依赖于惯性系之间的运动,也与光源、观察者的运动无关。从经典力学的观点来看,这两条假设是相互矛盾的,爱因斯坦却通过狭义相对论的理论使它们从逻辑上协调起来。这时惯性系之间的相互变换不再服从伽利略变换而是洛伦兹变换。设有两个彼此相对做匀速直线运动的惯性参照系 S 和 S' ,当两个参照系的坐标原点重合时将其作为计时零点,并设 S 系和 S' 系的 x 轴和 x' 轴重合,而 y 轴和 y' 轴及 z 轴和 z' 轴互相平行,且 S' 系沿 x 轴正方向以速度 v 运动,则这两个惯性参照系 S 和 S' 之间服从的洛伦兹变换是

$$\begin{cases} x' = (x - vt) / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = (t - \frac{v}{c^2}x) / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \end{cases} \quad (1-2)$$

式中: c 为光在真空中的速度。

设同一个事件在 S 系和 S' 系中的空时坐标分别是 (x, y, z, t) 和 (x', y', z', t') , 洛伦兹变换反映的正是同一个事件在 S 系和 S' 系中空时坐标之间的关系。狭义相对论的时空观也完全地体现在洛伦兹变换之中。与此狭义相对论有关的时空观与绝对时空观有很大的不同。在狭义相对论的时空观中, 空间和时间不再是相互独立的, 而是有机地联系在一起的。时间和空间均不能单独存在, 而是共同构成一个四维的时空连续区。“从形式的观点来看, 狭义相对论的成就可以表征如下: 它一般地指出了普通常数 c (光速) 在自然规律中所起的作用, 并且表明以时间作为一方, 空间坐标作为另一方, 两者进入自然规律的形式之间存在着密切的联系。”^[1] 在狭义相对论中, 四维结构 (即闵可夫斯基 (H. Minkowski) 空间) 被认为是物质和场的载体。狭义相对论的基础不再是三维的欧几里得空间, 而是四维的明可夫斯基空间, 其空间仍然是连续的和平直的, 空间与时间的量度不再与惯性参考系的选择无关而是有关, 在一个惯性参考系中同时的两个事件在另一个惯性系中不再是同时的。“根据爱因斯坦的狭义相对论, 根本不存在绝对静止的物体, 而对某一 (惯性) 参考系作相对运动的物体, 从该参考系看来, 量尺将会缩短, 时钟将会变慢, 质量将要增加, 速度越是接近光速, 这种效应就越明显, 从而揭示了时间、空间与物质运动之间的密切相关性。”^[2] 因此, 狭义相对论否定了绝对静止的存在。设在惯性参考系中, 两事件的空时坐标分别为 (x_1, y_1, z_1, t_1) 和 (x_2, y_2, z_2, t_2) , 则这两事件的时空间隔为

$$s^2 = c^2 (t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - z_1)^2 \quad (1-3)$$

两事件的时空间隔是四维结构中的度规, 该度规是准欧几里得度规, 在该度规中, 时间和空间是紧密联系在一起的。

狭义相对论表明自然规律只对惯性系有效, 对于坐标所许可的变换 (即那些使定律的形式保持不变的变换) 只能是线性洛伦兹变换。惯性系的优越地位

仍然存在。爱因斯坦把狭义相对论又推广成了广义相对论。广义相对论采用了两条基本假设:①等效原理——引力质量和惯性质量相等;②广义相对性原理——表示自然规律的方程,对于坐标的一切连续变换,都必定是协变的。其基础变为非欧几何,即黎曼(Georg Friedrich Bernhard Riemann, 1826 - 1866)几何,黎曼几何的基础又是空间弯曲的概念,惯性系不再具有优越的地位,一切坐标系在描述物理事件方面都是等价的,即允许坐标的非线性变换。这又进一步推动着时空观的变革,且动摇了时间、空间和物质等基本概念。“在广义相对论中,空间和时间的学说,即运动学,已不再表现为同物理学的其余部分根本无关的了。物体的几何性状和时钟的运行都是同引力场有关的,而引力场本身却又是由物质所产生的。”^[1]这充分地说明了在广义相对论中空间、时间、物质和运动进一步构成了一个统一的整体,没有物质即没有引力的虚空空间是根本不存在的,空间和时间对物质和运动产生影响,反过来物质和运动又影响空间和时间。空间是否平直与引力场的强弱直接有关。关于空间有限无限的问题,爱因斯坦认为,“我们根据相对论的引力方程可以断言,只要宇宙存在一个哪怕很小的正的物质平均密度,宇宙数量级的空间的性状就必定存在着对欧几里得几何的偏离。在这种情况下,宇宙在空间上必定是封闭的和大小有限的,其大小则取决于那个(物质的)平均密度的数值。”^[1]“场论的纲领有一个重大优点,它使独立的空间概念(有别于空间内容)成为多余的。空间因而仅仅是场的四维性,而不再是某种孤立存在的东西。”^[1]且在广义相对论中,坐标的微分没有物理意义,只有同它们相对应的黎曼度规才有物理意义。牛顿的引力理论是以绝对时空观为基础的,且认为虚空的空间是存在的,广义相对论对引力场的本质提出了与牛顿引力理论完全不同的新解释,“认为引力表现为由于物质的存在和一定的分布而导致的时空弯曲,且引力场的时空特性取决于物质的质量及其分布,质量越大,分布越密,空间曲率越大,时间流逝越慢。”^[2]这说明了空间的弯曲与物质的质量及其分布有关,时间的流逝亦是如此。这正是一种宇宙大尺度(即宇观)的时空观。

4. 玻姆的时空观

不管是牛顿的绝对时空观还是爱因斯坦的相对论时空观,都认为时间 - 空

间是物质和场运动的框架和载体,是一种客观的物理实在。现代物理学的两大基石之一——量子力学却又对相对论时空观提出了新的挑战。由于量子力学是研究微观领域的现象,绝对时空观和相对论时空观对其均是不恰当的。从表面上看,量子力学研究的仍然是时空里的粒子,仅仅因为空间的尺度小(约 $1\text{\AA}$ ^①的数量级),其中的粒子由于海森堡(Heisenberg, 1901—1976)测不准关系不再具有确定的径迹,其描述粒子的空间不再是三维的而是具有无限维的希尔伯特(Hilbert)空间,空间和时间不再是描述微观粒子的基本物理量,而仅是一种微观粒子的状态参量而已。微观粒子的状态是用波函数这一基本概念来描述的,这样量子力学的正统——哥本哈根学派提出了概率解释,对量子力学进行了物理解释,得到了与实验资料极其符合的结果。然而这种解释受到了以爱因斯坦为首的非正统派的攻击,原因是量子力学的概率解释否认了因果性的原理。玻姆(David Joseph Bohm, 1917—1992)亦属于非正统派。他致力于量子理论的新解释,提出了试图超越相对论和量子力学又把二者包括在内的隐序理论^[3]。正是这种隐序理论又对时间和空间提出了新的解释。玻姆认为物理实在是“隐序”,且隐序本身是自主的、能动的,而显序来自隐序,因此显序是第二位的、派生的,只是在某种有限的领域中才是恰当的,从根本上来说,隐序必须被看做是在更高维数的空间中进行的卷入与展出过程,只有在某种条件下,这个过程才可以被简化为在三维空间中进行的卷入与展出过程。又认为隐事物的序作为由隐参量 T 来计量的东西与时间序(由另一种参量 t 来计量)没有必然的联系。如果一种结构是不同步坐标的,即由隐事物的不同度的方面组成,那么时间序在一般情况下显然不是基本的、适宜表述规律的。相反,整个隐序在任何时刻都是现存的,这样无需赋予时间以根本作用就可以描述从隐序中产生出来的整个结构,这正是隐序的超时间性和前时空性问题。说明描述物理实在(即隐序)是通过隐参量来实现的,而时间和空间不是基本的、适宜表述规律的,因而时间和空间不再是物理实在的载体和框架。我们观察到的仅是具有一定度的显序。在隐序理论中,玻姆又提出了“全运动”的概念,全运动用于传播隐序,是隐序的存在之所,全运动是无法规定、无法测度的。依据隐序理论关于宇宙大爆炸理论,玻姆作了如下的解释,在巨大的宇宙能量海中,它突然产生一次波脉冲,我们的宇宙就从

① $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$ 。