

郭树源 著

时间与物理学

TIME & PHYSICS



科学出版社

国防科学技术大学科研部、理学院资助出版

时间与物理学

郭树源 著

科学出版社

北京

前 言

时间是什么,几千年来一直是个谜.时间是人们生活中使用最多的一个概念,也是物理学中最重要的两个基本概念之一.物理学中虽然大量使用时间概念,但对它的含义却始终不明确.

80 多年前,由玻尔、德布罗意、海森伯、薛定谔、玻恩和狄拉克等物理学家共同创建的量子力学,是一个极其成功的物理理论,现已成为几乎所有自然科学的基础.它的一些基本概念非常奇特,与人们的经验和经典物理学概念格格不入,也与爱因斯坦广义相对论存在不可调和的矛盾.以致连量子力学的奠基人之一爱因斯坦都怀疑它的合理性,至死都未接受它.量子物理学家都知道怎样去运用它、应用它,却没有人懂得它.没有人能说清楚,物质粒子在空间各点为什么会有一个发现它的概率.造成这种情形的原因,主要是由于人们的时空观念不明确、不正确.要解决量子力学概念与人们日常经验的矛盾,要解决量子力学与爱因斯坦广义相对论的矛盾,唯一的途径就是革新我们的时间概念.只有搞清了时间是什么,才能彻底消除这些矛盾,才能真正搞懂量子力学.

作者从分析前人关于空间和时间的论述和理论中,找到了关于时间的一个含义明确的定义.这个定义回答了时间是什么的问题,给出了时间和时间间隔的明确物理意义,它与我们的日常经验和量子力学概念都不存在任何矛盾.从新时空概念可以推得物体的位置坐标和它在同一方向上的运动速度不可能同时具有确定值等经典物理学无法推得的许多正确物理结论.新时空概念否定经典决定论、意味量子论.从这个三维空间和时间概念定义,就可以说明经典物理决定论为什么错误,量子力学为什么正确.从这个含义明确的时空新概念,结合实验事实,利用数学知识,不需要任何假设,就可以自然地用演绎的方法推出量子力学的基本概念、基本原理和基本方程.而且,这样推得的基本方程——薛定谔方程,还包含有时间的方向性.作者相信,热力学第二定律有可能用包含时间方向性的薛定谔方程推导出来.

从一个简单而平凡的时空概念和定义能够推出如此许多,这是其他任何时空概念和定义不可能做到的.这促使作者将这个新时间概念及由它推出的许多正确物理结论写成本书出版,请科学家、读者审定.

如果这个新时空观念,就是惠勒曾期望的导致量子论的简单概念^①,那么,量子力学理论不应再是建筑在几个假设基础之上的物理理论,而应是可以从最基本的

^① 惠勒.物理学和质朴性.惠勒演讲集[R].方励之译.合肥:安徽科技出版社,1982.

时空概念出发, 自然地推导出的物理学理论. 我们用新时空概念去学习、思考量子力学, 就不会再对量子力学感到奇怪、困惑. 以前连物理学家都感到“没有人懂得它”的量子力学基本概念, 就有可能把它教给中学生, 甚至有可能使大众都知晓它们. 我们用新时空观看宇宙和万事万物, 就会大不一样.

本书写成后, 承中国科学院冼鼎昌院士、王乃彦院士和中国工程院赵伊君院士及北京大学张启仁教授在百忙中帮助审阅书稿并推荐出版, 作者向他们深致感谢. 因作者身患重病, 本书的写作断断续续经历了十多年的时间. 从手写稿到键入电脑打印出来, 先后得到过国防科学技术大学卓钺教授、叶蔚先生和郭倩同志的大力帮助, 此外, 卢永德教授对本书的编写提出了宝贵建议, 指出了书稿中的错误. 作者向他们深表感谢.

本书的观点, 仅为作者一家之言, 欢迎物理学家特别是不同意我观点的科学家批评指正. 作者学识有限, 写作水平不高, 书中难免有不妥之处, 敬请读者指出.

作 者

2010 年 4 月 16 日于长沙

目 录

前言

第 1 章 革新时间概念的必要性	1
1.1 时间概念在物理学中的基础地位	1
1.2 革新时间概念的必要性	3
1.3 已知的时间特性	8
1.4 时间是什么	9
第 2 章 空间和时间的理论	13
2.1 爱因斯坦关于三维空间的论述	13
2.2 从经验事实中引出三维空间定义	25
2.3 三维空间是不断变化的	30
2.4 时间的定义	31
2.5 时间测量理论	40
2.6 由时间概念派生出宇宙四维空间 (闵可夫斯基空间) 概念	45
2.7 时间矢量与三维空间位置矢量的不同	51
2.8 三维空间概念与三维参照系概念的区别	54
2.8.1 三维空间与确定物体在三维空间中位置坐标的三维参照系的区别	55
2.8.2 三维空间与确定物体运动速度参照系的区别	56
2.9 两种确定时间的参照坐标系	59
2.10 宇宙四维空间两点间“距离”(或间隔) 不变量	71
2.11 坐标时间与固有时间	75
2.12 时空图——宇宙四维空间中的坐标系	76
2.13 四维空间描述与三维空间描述的不同	78
第 3 章 用时间概念说明时间特性和宇宙起源问题	83
3.1 用时间概念说明已知的时间特性	83
3.1.1 时间与三维空间的不可分割性	83
3.1.2 时间的不可逆性	83
3.1.3 时间 (测量值) 的相对性	85
3.1.4 时间的有限性	89
3.2 用时间概念说明宇宙起源问题	91
3.2.1 新时间概念支持正确的宇宙模型	91

3.2.2	时间使造物主无存身之处	92
3.2.3	新时间概念可正确解释实时间与虚时间的关系	93
第 4 章	时间概念与经典物理学	99
4.1	时间概念与牛顿力学和相对论力学	99
4.1.1	物体惯性运动具有相对性的概念	99
4.1.2	相对性和相对性原理	100
4.1.3	四维宇宙要求真空中的光速必须为常数	105
4.2	时空概念与哈密顿力学	114
第 5 章	新时空概念否定经典决定论意味量子论	118
5.1	新时空观否定实物位置坐标和速度同时具有确定值的观点	118
5.1.1	物体位置坐标和速度可同时具有确定的值是建立经典物理学理论的基础	118
5.1.2	新时间概念否定每个物体的位置坐标和速度可同时具有确定值的观点	119
5.2	三维空间变化的多样性和时间的择一性	128
5.3	由新的时空概念可推出变实概率密度分布函数概念	131
第 6 章	时间概念与量子物理学	145
6.1	量子力学建立历史简述	145
6.2	量子物理学与经典物理学的不同	150
6.3	利用变实概率分布函数概念即可说明物质原子的稳定性	154
6.4	由变实概率密度分布函数推演出复矢量 (波函数) 概念	155
6.4.1	把变实概率密度函数变换成抽象复矢量描写概率分布的必要性	155
6.4.2	把变实概率密度函数变换成抽象复矢量描写概率分布的可能性	157
6.4.3	采用狄拉克创造的左右矢符号表示一对对偶矢量的好处	163
6.4.4	数学模型变换使得物理量及其函数和微商等运算符号被赋予了新的数学意义	166
6.4.5	学习爱因斯坦, 利用数学家的研究成果, 描写和研究自然规律	168
6.4.6	把变实概率函数变换成抽象复矢量描写概率分布可获得的好处	170
6.5	推出的和假设的四个集合元素映射关系的对比	171
6.6	联系复矢量在不同坐标系中分量的变换式	174
6.7	量子态——复矢量描写的抽象对象	177
6.8	同方向不同长度的复矢量描写同一个量子态	182
6.9	复矢表示式 (波函数) 带有绝对值为 1 的不定乘积因子 $e^{i\vartheta}$	184
第 7 章	由复矢定义可推得的概念、原理和方程 (I)	188
7.1	复空间坐标系及复矢平行、垂直、斜交表示方法	188

7.2 两个复矢标量积的数学物理意义	193
7.2.1 任意方向复矢 $ \psi\rangle$ 在坐标系坐标轴方向的投影分量 (数学意义)	193
7.2.2 复矢在两个轴向不同坐标系中分量之间的变换系数 (数学意义) 和概率 波传播子 (物理意义)	194
7.2.3 标积 $\langle\varphi \psi\rangle$ 还可表示两个量子态之间的跃迁概率的平方根 (物理意义)	197
7.3 概率传播子	198
7.4 复矢量对时空坐标的偏微分方程	201
7.5 态叠加原理	203
7.6 复矢量的相位差与经典力学的作用量	210
7.7 路径积分概念和费曼路径积分方程	215
7.8 玻色子和费米子 (全同粒子系复矢的两种对称性)	220
第 8 章 由复矢定义可推得的概念、规则和方程 (II)	222
8.1 使复矢量变化成新复矢量的算符及其表示式	222
8.1.1 线性算符	222
8.1.2 算符的表示式——矩阵	224
8.2 由平均值公式可推得乘在复矢上的物理量相当于作用在复矢上的 算符	227
8.3 物理变量算符必须按算符的演算规则演算	237
8.4 可观测量算符必须用厄米算符代表	243
8.5 描写物理量取确定值特殊概率分布的本征方程	244
8.6 时间是可观测量物理量为何在量子力学中时间 t 又不是算符	252
8.7 量子力学海森伯绘景和对应原理	252
8.8 物理量的观测与波函数的坍缩	260
第 9 章 复矢量随时间演化方程的推导	270
9.1 薛定谔方程的推导	270
9.2 与动量算符相等的微商算符的推导	284
9.3 狄拉克相对论电子波动方程的推导	290
9.4 关于粒子自旋	296
第 10 章 关于量子力学基本概念的几次争论	302
10.1 关于波函数含义是什么的争论	302
10.1.1 波函数 $\psi(x, y, z, t)$ 描述的是物质波, 还是概率波	302
10.1.2 ψ 函数平方描述的是多粒子系综的统计概率, 还是单个粒子物理量取 值的概率	303

10.2 关于海森伯不确定关系式的争论	306
10.2.1 不确定关系式的发现和提出	306
10.2.2 对不确定量关系式不同理解和解释的争论	309
10.3 关于量子力学理论是否合理的争论	319
10.4 关于量子力学理论是否完备的争论	326
附录 EPR 全文	335

第 1 章 革新时间概念的必要性

1.1 时间概念在物理学中的基础地位

我们事先选定一个参照物所在位置作为标准位置, 并选定一个以参照物所在位置作为原点的笛卡儿坐标系, 就可由每一个物体向 3 个垂直坐标轴方向的投影长度值排列成的有序数组 (x, y, z) 唯一地描写和确定该物体在三维空间中的位置. 如果要描写物体位置变化的大小, 也可以通过将它变化了位置的新位置坐标 (x', y', z') 减去它原来位置的坐标 (x, y, z) 之差 $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 描写和确定出来. 但要描写一个物体的运动和运动的快慢, 仅用物体在参照坐标系中的位置坐标差值是做不到和区分不了的. 这就需要引进时间 t .

引进时间 t 以后, 物体运动快慢就可用运动速度 v 不同来描写. 速度大的表示运动快, 速度小的表示运动慢. 速度 v 沿 x 方向的分量 v_x 被定义为: 在时间间隔 $t_2 - t_1 = \Delta t$ 内物体位移坐标差 $\Delta x = x_2 - x_1$ 与时间差 Δt 之比 $\frac{\Delta x}{\Delta t}$. 如果物体运动速度不是一个定值, 而是随时间变化, 则这样定义的速度只代表物体在某一时间间隔内的平均速度, 不能说明物体速度随时间瞬刻变化的情形. 如果我们把物体变化的位置坐标 x 看作随时间变化的确定函数 $x(t)$, 我们就可以通过求比值 $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 极限的过程 (即求物体位置坐标对时间的微商 $\frac{dx}{dt}$), 求出物体每一时刻在 x 方向的瞬时速度分量 $v_x = \frac{dx(t)}{dt}$. 这个瞬时速度可以很好地描写物体运动快慢的情形, 比起平均速度的描述来要精确得多. 由于按照微商的定义, 这样求得的瞬时速度又是时间的确定函数 $v_x = v_x(t)$, 我们进一步还可以用求极限的办法, 求得物体在每一时刻速度的变化率——物体在 x 方向的加速度分量 $a_x(t)$, 加速度为物体位置坐标对时间的二次微商或二次导数 $a_x(t) = \frac{d}{dt}v_x(t) = \frac{d^2}{dt^2}x(t)$.

通过总结和分析实验观察结果, 牛顿找到了作用在物体上的力 f 与物体加速度 $a(t)$ 之间关系的方程——牛顿第二定律:

$$f = ma$$

这是牛顿物理学的基本定律之一. 牛顿第二定律加上其他两个定律以及万有引力定律等就构成了牛顿物理学理论的基础. 只要测得了或知道了物体在某一初始时刻 t_0 的位置 $r(x_0, y_0, z_0)$ 和速度 $v(v_{x_0}, v_{y_0}, v_{z_0})$, 以及作用在物体上的力 $f(x, y, z)$, 通

过求解牛顿第二定律公式, 就可以求得物体在任何时刻的位置 $\mathbf{r}(t)$ 和速度 $\mathbf{v}(t)$, 就可以求得物体在空间中运动的轨迹. 物体的动量 $\mathbf{p}$ 等于物体的质量 m 乘速度 $\mathbf{v}$, 即 $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$, 物体的动能为 $T = \frac{1}{2}mv^2$, 势能是位置坐标的函数 $V(x, y, z)$. 只要知道了任意时刻物体的位置和速度, 它的动能和势能以及总能量也就知道了. 这就是牛顿在 300 多年前告诉我们的方法, 也是牛顿力学的一些基本物理概念. 牛顿物理学就建立在这样一些基本概念之上.

牛顿物理学是一座内容丰富、结构严谨的科学大厦, 它的理论能描述一切不同大小 (大到星球、小到微粒)、不同质量的物体的运动, 它曾经被看成是一种普遍适用的科学理论. 它所使用的许多概念——速度、加速度、动量、角动量、能量等, 都是从物体在三维空间的位置概念 (或简称空间概念) 和时间概念这两个最原始、最基本的概念定义或派生出来的. 牛顿物理学就是由空间、时间、速度、加速度等这些概念作为基石和建筑材料建造起来的.

但是, 需注意, 牛顿把时间这个量引进到他的力学中, 是为了要描写运动的快慢. 他把它作为一个任意的没有什么意义的参变量, 并没有搞清时间是什么, 也没想要搞清时间是什么. 在牛顿写的《自然哲学之数学原理》一书中, 他没有给时间下定义, 只给它加了个附注. 正是这个附注, 在他出版这本书之后的几百年中影响了一代又一代物理学家和普通人们对时间的认识. 虽然爱因斯坦在 1905 年改正了他对时间认识的一个重大错误, 但由于经典物理学与时间没有矛盾, 加上理解、应用和发展牛顿力学和其他经典物理学包括爱因斯坦相对论, 并不需要搞清楚时间是什么, 物理学家也就不去深入思考和研究时间究竟是什么这个问题. 以致直到现在, 物理学家和普通人们对时间究竟是什么的认识还不清楚, 可以说, 根本就不知道. 不仅如此, 对三维空间是什么, 也没有一个明确的概念和定义. 物理学家, 除改正了牛顿关于空间是绝对的、与物质无关的错误观念外, 仍然是承袭了前人的旧时空观念. 爱因斯坦虽然对三维空间下了个定义, 也是不正确的. 由他的定义推不出空间与时间之间不可分割的关系来.

量子力学是 20 世纪初至 20 年代后期由普朗克、爱因斯坦、玻尔、德布罗意、薛定谔、海森伯和狄拉克等一些物理学家研究和建立起来的一个新的现代物理学理论. 这个新物理学理论中的许多概念与牛顿物理学理论以及爱因斯坦相对论中的概念大不相同, 它所描写和研究对象, 不是由物体每一时刻的位置 (x, y, z) 和速度 (v_x, v_y, v_z) 所确定和描写的物体状态, 而是用物体位置坐标值 x, y, z 和时间值 t 作自变量的复值波函数 $\psi(x, y, z, t)$ 确定和描写的抽象对象——量子态. 尽管量子力学中所用的概念与经典物理学 (牛顿力学和爱因斯坦相对论统称经典物理学) 概念完全不同, 甚至矛盾、对立, 空间概念与时间概念仍然是量子力学最基本的概念. 在量子物理学中, 许多概念仍然是从空间和时间概念定义和派生出来的. 因此, 在全部物理学中, 空间和时间都是最基本的基础概念, “没有一条物理定理不需要

用时间、空间概念来陈述它”^①，空间概念和时间概念在物理学中共同起着基础的作用。

空间和时间概念的正确与否直接关系到物理学概念的正确与否，直接关系到物理学理论的正确与否。空间和时间概念正确，由它定义的或派生出的物理学概念就是正确的。反之，空间和时间概念错误或不正确，就会使物理学概念错误或不正确，误导物理学家产生错误的观点，得出与客观规律不符的错误的判断和理论，阻碍人们对大自然客观规律的正确认识，阻碍物理学理论不断革新和深入发展。

1.2 革新时间概念的必要性

人类关于空间和时间观念的每一次革新，都要给物理学理论带来新的进展，甚至引起物理学理论的大变革，产生出新的物理学理论来。爱因斯坦相对论就是人类关于时间概念一次革新的成果。20世纪初，爱因斯坦发现同时性具有相对性，即“两事件同时发生”这一叙述只具有相对意义，不具有与参照系无关的绝对意义，对一个参照系同时发生的两个事件，一般地说，对另一个参照系就不是同时发生的。这促使他摒弃物理学家沿用了几百年的牛顿错误的绝对时间概念，创立新的时空观，并在新的时空观基础上建立起比牛顿力学适用范围更广、更深刻、更准确的反映物质运动规律的物理学理论——相对论。相对论批判了牛顿将时间看作与空间无关、与物质无关的错误观念，使三维空间与时间共同成为空-时四维空间的组成部分。并且，按照爱因斯坦后来发展的广义相对论，时间与三维空间是空间几何的动力学历史。人类关于时间和空间概念革新的结果，使得原来被看作普遍适用的牛顿物理学理论一下子丧失了它的普适性，降格为只在一定范围内适用的特殊理论或近似理论（即只适用于物体速度远远小于光速领域的近似理论）。

但是，新的、适用范围更广、更正确的物理学理论，并不一定要在人类关于时空概念进一步革新之后才能建立。人类关于时空概念的革新滞后于物理学理论的发展也不是不可能的。量子力学理论就是在人类关于时空概念没有进一步革新的情形下，建立起来的、新的、普遍适用的物理学理论。因为物理学家在实验观测结果的启示下，也可以通过假设的方法，得出原来物理学理论无法得到的新公式，创立新的物理学理论。不过，这样得到的新公式和新理论，从人们原有的时空观念看来，不能解释，无法理解，往往显得很奇怪，使人感到不可思议。著名的洛伦兹坐标变换公式在相对论导出之前16年，洛伦兹就用假设得到了。他是在牛顿绝对时间观没有被革新的情形下，通过假设尺子在所谓“以太”中运动要缩短，时钟在“以太”中运动要变慢得到的，这就是时间概念革新滞后于得出正确物理学公式的一个典型例

^① 方励之. 惠勒演讲集. 物理学和质朴性 [R]. 合肥: 安徽科技出版社, 1982.

子。洛伦兹虽然得到了这个坐标变换公式, 由于他没有对时间概念进行革新, 仍然坚信牛顿绝对时间观念正确, 把跟空间坐标一同参与变换所得到的新时间 t' 看作没有意义的辅助概念, 误认为真正的时间仍然是变换之前的时间 t , 看不出他所得到的变换公式以及由变换得出的新时间 t' 的物理意义, 使他错过了发现新物理理论的机会。即使在爱因斯坦之前就预见到时空观念必将产生巨大变革的大数学家庞加莱, 也没有看出洛伦兹变换公式的真正意义, 不懂得变换后的时间 t' 就是新参照坐标系中观测者观测得出的时间。只有在爱因斯坦革新了牛顿错误的时间概念, 建立起相对论, 时间被看成组成空-时四维空间的一维, 成为描述自然现象不可缺少的坐标之一, 不需假设就能从相对论自然导出洛伦兹变换公式以后, 物理学家才认识到这个将时间和空间坐标联系在一起变换的洛伦兹变换公式的真正意义。像运动的尺子缩短、运动的钟变慢, 这种从绝对时间观看来无法理解和解释的运动学效应, 采用新的时间观看问题, 就是非常自然的、很好理解的物理现象, 它是时间具有相对性的自然推论。在时空概念没有革新之前由假设得到的新公式、新理论, 大都与人们沿用的旧时空观念相矛盾。量子力学的概念和理论就是与现今的时空观念矛盾的、格格不入的。无论人们的共同经验, 还是科学家们总结出的时空概念都认为, 包括过去、现在和未来的任何时刻, 不管你是否对它进行观察, 物体在三维空间中都具有一个确定的唯一位置。而量子力学则认为, 在观测之前, 除特殊情形外, 实物粒子在三维空间中, 一般没有一个确定的唯一位置, 而是在空间各个位置点处都有一个发现它的概率。一只关在箱子里看不见的猫, 当你打开箱子看它时, 它不是死了的猫, 就一定是仍然活着的猫, 只有这两种可能, 二者必居其一。而量子力学认为, 在打开箱子观看猫之前, 猫是处在既死又活的状态。甚至可以说, 月亮在没有被观察者看它之前, 它也不是百分之百地位于唯一的一个地方, 而是以不同的概率可以在不同的地方被发现。只有当我们观察它时, 它才位于一个确定的地方。量子力学的这种概念与我们现今的时空概念和经验事实格格不入, 存在着尖锐的无法调和的矛盾, 也与牛顿物理学和爱因斯坦的相对论存在着尖锐的无法调和的矛盾。什么矛盾? 如何矛盾? 我们先以普通的语言来概述, 然后再加以仔细讨论。牛顿物理学认为, 只要同时知道或测得物体某一初始时刻的位置和速度, 这个物体在任何时刻的位置和速度就可由牛顿第二定律方程准确算出来。物体在空间中沿着确定的轨道运动。而量子力学则认为, 物体的位置和速度不可能同时确定和测定, 物体在空间中并没有确定的运动轨道。我们还可以用爱因斯坦广义相对论研究宇宙为例来说明。惠勒教授说: “从今天最高权威——广义相对论的观点来看, 时空是空间几何的动力学历史。空间几何的发展, 以决定论的方式依赖于时间。像其他动力学问题一样, 为预言空间几何的历史, 需要给定初始坐标及初始动量。用更专门的语言来说, 这需要给定下述量的一个初始‘空间剖面’或‘同时性’: ① 内禀三维几何; ② 这个内禀三维几何的时间变化率。在经典理论中, 这些信息对于预言空间几何的整个历史

来说,是必要而充分的,即由此能计算空间几何的过去、现在和未来。”^①按量子力学的观点,这两条信息是不可能同时知道和给定的,因此,也就无法利用广义相对论方程预言空间几何的整个历史。

对时空概念没有作进一步的研究和革新,使得既是相对论的创立者又是量子论的奠基人之一的伟大物理学家爱因斯坦,也无法理解量子力学为什么要用看不见、感觉不到却弥漫整个三维空间的概率波函数 $\psi(\mathbf{r}, t)$ (它的绝对值平方 $|\psi(\mathbf{r}, t)|^2$ 等于粒子在位置 $\mathbf{r}$ 点处被探测到的概率),而不是用一个位置矢量 $\mathbf{r}(t)$,描写物质粒子在三维空间中具有一个唯一确定位置。他至死都怀疑量子力学的合理性和完备性。

如果从普朗克 1900 年假设并发现自然界存在不变常数 $\hbar$ 算起,量子论的历史至今已有 110 年了,即使从薛定谔 1926 年提出薛定谔方程算起,量子力学理论的建立和发展也有八十多年的历史了,且不说爱因斯坦不理解量子力学、怀疑它的合理性和完备性,就是提出量子力学路径积分形式、为量子力学发展作出过巨大贡献的美国著名物理学家费曼也说过“没有人懂量子力学”。他于 1964 年在康奈尔大学作演讲时说:“曾经有一个时期报纸上说只有 12 个人懂相对论。我不相信真有那么样的时候,可能有一个时间只有一个人懂,因为在他写文章之前只有他一个人明白了,但是当人们读了他的文章之后有许多人在各种程度上懂了相对论,肯定不止 12 个人。不过在另一方面,我想我可以放心地说,没有人懂量子力学 (I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics).”^②在他 20 年后出版的另一本关于电动力学的科普著作里,费曼又重申了没有人懂量子力学或者量子电动力学为什么会是那个样子。他说:“没有人懂得这一点。我不能解释自然界为什么以这样奇特的方式行事”。“我们不得不用以描述自然的方式,一般说来,对我们是不可思议的。”^③

此外,还有著名的理论物理学家盖尔曼,20 世纪 80 年代,在谈到“全部近代物理学是受那个称作量子力学的壮丽无比而又使人糊涂的学说所支配的。它已经受住一切检验,没有任何理由相信它会有任何瑕疵。我们全都知道怎么用它,怎样把它用到具体问题中去”时,也说过同样的话,那就是:“没有人懂它”。可见,量子力学发展到今天,物理学家都知道怎样去运用它和应用它,却没有人懂它,没有人理解量子力学为什么会是这个样子,没有人知道自然界为什么要以这样奇特的方式行事。

一个普适的正确物理理论建立了 80 多年,物理学家都会应用它,但包括那些对量子力学建立和发展作出过巨大贡献的物理学大师们在内,没有人懂得它。为什么会出现这种情况呢?原因就是,几百年沿袭下来的时空观念在人们头脑中根深蒂

① 方励之. 惠勒演讲集. 物理学和质朴性 [R]. 合肥: 安徽科技出版社, 1982.

② Feynman P R. The character of Physical Law. Cambridge Press: MIT, 1965.

③ Wolpert L. The Unnatural Nature of Science. London: Faber and Faber, 1992, 144.

固,它禁锢着物理学家的思想,使物理学家看不清时间的物理含义,看不清时空的真正本质;原因就在于人类关于时空的观念没有进一步革新.用空间和时间概念含义不明的现有沿用的旧时空观看问题,不可能知道为什么不能用一个位置矢量而必须用概率波函数描写我们实际测得具有一个确定位置的物质粒子.

爱因斯坦的广义相对论是关于空间、时间和引力的理论,但是它与量子力学的概念和原理存在着极为尖锐的矛盾.为了消除存在于现代物理学这两大理论之间的尖锐矛盾,物理学家提出了许多富有想象色彩的观点.现在最时髦的观点是,想象自然界中所有的力和粒子都有一种更深层次的数学关系,它们似乎是用极微小的线或薄膜联系起来的,在更高维度的空间里运动,而不是在我们熟知的三维空间和一维时间内运动.这种理论思想已经发展到了十分严密的阶段,物理学家称其为“M 理论”.这一理论试图运用更精细的几何概念,来完全代替空间、时间及物质这些概念.最终目的是想从更深层次的关系中,衍生出时间、空间、粒子及力等概念.物理学家希望依靠它来最终解释什么是时间,以及在物理领域内时间与其他基本概念构成怎样的关系等问题.

时空概念与量子力学概念的尖锐矛盾也使著名理论物理学家惠勒(费曼的导师)深感困惑,他认为“若在严格的意义上应用量子论,则时空概念不能用”,“时空是个被禁用的概念,因为它意味着一种完全有别于量子论的决定论”,并得出结论说,物理学需要“重建在一个新的基础之上”,“在这新的物理体系中,时间将是被导出的.”^①在试图用新的理论体系导出时间这点上,惠勒的观点与 M 理论的观点是一致的.但惠勒的这种看法无疑是错误的.因为“意味着一种完全有别于量子论的决定论”的现有时空概念不能用,不等于新的、与量子论概念完全一致的时空概念不能用.问题在于,我们能否定义出一个意味着完全有别于经典决定论并可导出量子论的新时空概念.由于现在除了爱因斯坦在 1915 年建立的、今日仍视为标准的时空理论之外,还没有其他有关时间的含义和测量的学说获得广泛的承认,还没有定义出一个符合于时空本质的正确的空间和时间概念.所以当人们运用现有的时空观念去看微观粒子的行为时,就觉得它们的行为很古怪,不可思议,用旧的时空观念去思考量子力学理论时,也觉得量子力学理论很奇怪,无法理解.当人们运用爱因斯坦的时空观去看量子力学的概念和理论时,就出现了无法调和的矛盾.人们常说,物理学中最大的问题是协调量子力学理论和广义相对论.惠勒说:“量子论和(广义)相对论根本不可能协调,除非在这样一种观念框架中,即在其中并没有这二者,没有定律,并且,更重要的是‘没有时间’.然而在最后,量子论和相对论又都会作为一种近似而出现.”

要解决广义相对论和量子力学概念的矛盾,难道真的像惠勒所说的那样,除了

^① 方励之.惠勒演讲集.物理学和质朴性[R].合肥:安徽科技出版社,1982.

重建物理学新体系,或者发展新的数学理论,用 M 理论导出时间、空间之外,就没有解决时空概念与量子论概念矛盾的其他办法吗?当然不是.惠勒在他设想的重建物理学的新体系中,也讲了解决量子论与时空概念矛盾的另一种方法.按照他的说法,就是从“时间是原初的”这一观念出发,导出量子论.他虽然看出了问题症结所在,但他没有说,首先必须对时间概念进行革新.与惠勒模棱两可的观点不同,对如何解决时空概念与量子论概念的矛盾,当代英国著名数学物理学家彭罗斯(R.Penrose)则有明确的认识.1997年12月他在为《爱因斯坦奇迹年》这本书写序中说:“怎样才能成功地……解决支配微观世界的量子论定律同支配宏观世界的广义相对论定律之间带有根本性的紧张关系”呢?在他看来,“只有时间,而且,我相信,只有一场新的革命将会作出回答——或许是另一个奇迹年”.什么新的革命呢?他曾经说过:“对物理现实的图像,尤其对时间的属性,我们来一次大变革的时候到了.这变革也许胜过今日的相对论和量子论.”^①这就是说,他认为只有对时间概念进行一次大的变革或革新,才有可能成功地解决“支配微观世界的量子论定律同支配宏观世界的广义相对论定律之间带有根本性的紧张关系”,或者说,只有革新时间概念,才有可能真正解决量子论概念与现有时空概念的矛盾.

因为从“意味完全有别于量子论的决定论”的现有时间观念是无论如何导不出量子论来的.物理学家从经典决定论的时空概念出发,曾认为量子理论不完备是由于还存在许多隐变量没有被人们认识到.在过去几十年中,许多物理学家绞尽脑汁,提出了各式各样的隐变量理论,却没有一个导出量子论来的.这就充分说明了,想从经典决定论的时空观念出发,导出量子理论的企图是徒劳的、不可能实现的.企图用更精细的几何数学概念导出时间和空间概念,恐怕也只会像狄拉克那样,最终离不了假设,“从数学中引出物理知识”.否则,怎么可能从数学理论中导出时间和空间的物理概念来呢?

量子论创始人之一、伟大的物理学家玻尔,在与量子论奠基人之一、同样伟大的物理学家爱因斯坦关于量子力学理论是否合理和完备的长达 28 年之久的论战中,由于没有一个明确的能导出量子论的时空新概念,使他无法说服爱因斯坦,只好用他创造的所谓“并协原理”或“互补原理”作为量子力学合理的论据.当爱因斯坦坚持“上帝不在掷骰子”时,坚信量子力学正确而又没有充足理由驳斥这一点的玻尔只好回答:“爱因斯坦,你不要告诉上帝应当怎么做.”玻尔不能说明为什么在空间各点会有一个伴随实物粒子的、被观测者发现它的概率存在,不能说明为什么概率性是大自然的一种最基本的属性,不能说明自然规律为什么要建筑在概率性的基础之上.造成玻尔无法说服爱因斯坦,爱因斯坦也始终不相信量子力学合理的原因,也是由于玻尔没有一个新的意味量子论的时空概念,而爱因斯坦则是从经典

^① 约翰·施塔赫尔. 爱因斯坦奇迹年 [M]. 上海: 科技教育出版社, 2003.

决定论的时空观 (他赖以导出相对论的时空观) 看量子力学。

但是, 玻尔终究是一个伟大的物理学家。据惠勒教授说: “他 (指玻尔) 相信总有一天, 人们会理解并接受量子及量子现象 (我理解玻尔所说的量子现象应是指粒子具有概率波性质的现象) 对建造宇宙的必要性。到那时, 人们将会相互说 ‘啊! 我们过去是何等愚蠢。这一切是如此简单, 世界只能是这样, 它怎么可能是其他样子呢?!’ 那时, 量子论不再是那种奇怪的、不受欢迎的、强加于我们并曾受到我们反对的东西了。所有这些, 都依赖于我们能否从一条简单而平凡的原理导出量子论。正如在相对论中, 我们从 ‘在任何自由漂浮的参考系中, 物理定律应是同样’ 这句话中推出了如此许多一样, 我们期待着一个导致量子论的 ‘简单’ 概念。”^① 惠勒教授的这些话既是玻尔的思想, 也代表了他个人的看法, 它启示我们, 有必要对时间概念进行深入的研究, 找出一个既与经典物理的正确概念相一致, 也能导出量子理论的正确的时间概念。

如果我们能找到既与经典物理的正确概念相合又能导出量子力学的新时间概念, 不仅对学习、讲授和深入理解量子力学理论有极大好处, 而且会对广义相对论与量子论结合、将广义相对论纳入量子力学框架中有所启发, 对进一步发展物理学理论具有巨大的理论意义。同时, 对广大群众树立科学的时空观和宇宙观也会具有非常大的实际意义。

1.3 已知的时间特性

在深入研究时间概念之前, 我们先简单的叙述一下已知的几个时间特性。

1) 时间具有不可逆性

与我们在三维空间中可以朝东方向走, 也可以朝相反的西方向走不同, 我们在时间里只能朝将来的方向走。也就是与三维空间位置坐标可以朝增大和减小两个方向变化不同, 时间只能朝增大的方向变化, 不可以朝减小的方向变化。时间只能朝单一的增大方向变化并且一去不复返的这种性质, 称作时间的不可逆性, 也叫时间之箭, 这是英国物理学家爱丁顿根据时间流逝像箭飞一样, 只能朝箭头所指方向飞去不能往后退的性质, 给不可逆的时间加上一个形象化名称。

表现时间变化方向不可逆的客观事实, 每一个人都能观察到。例如, 任何人都 会从出生后随着时间的推移, 由婴儿、幼儿到少年、青年, 逐渐长大变老, 最后死去。不可能将时间倒退回去, 使死去的人复活, 返老还童, 越变越年轻, 最后变成婴儿回到自己娘肚子里去。又如, 从桌上掉到地上的玻璃杯, 会破碎成往四处飞散的碎片, 不可能有时间反流, 使打碎的玻璃碎片自动聚拢, 又自动变成一个完好的玻璃杯跳上桌子。又如, 一杯开水会自己变凉, 从来没有见到过一杯已变凉的水会自动变回

^① 方励之. 惠勒演讲集. 物理学和质朴性 [R]. 合肥: 安徽科技出版社, 1982.

开水的。打碎的玻璃不能自动复原，人死了不能复活等，所有这些不可逆的过程都明明白白地显示出时间变化是不可逆的。

2) 时间具有与三维空间不可分割的联系

在相对论以前的物理学里，时间被认为是与空间不相关联的，时间与三维空间是完全分开并独立的。这也是一般人当作常识的观点，但爱因斯坦相对论纠正了牛顿物理学的错误观点。经过无数实验验证的相对论说明，时间具有与三维空间不可分割的关系。霍金说：“相对论迫使我们从根本上改变了对时间与空间的观念，我们必须接受观念是，时间不能脱离和独立于三维空间，而必须和三维空间结合在一起，形成所谓的空间-时间的客体。”

3) 时间具有相对性

所谓时间具有相对性是指：时间的测量值依赖于观测者所在参照坐标系，两个做相对运动的观测者测量同样一个事件发生的时间值，结果不同。没有对所有观测者测量结果都相同的普适时间，测量同一事件发生的时间，测量结果随观测者所在参照系不同而不同。

时间具有相对性是与牛顿的绝对时间观念根本对立的。牛顿认为，存在着与参照坐标系无关的、绝对的普适时间，即无论观察者是否相对运动，也无论观察者处在哪个参照坐标系中测量，无论是在宇宙飞船上，还是在地球上测量，无论是坐在站台上，还是坐在前进中的火车中测量，对同一事件发生的时间或对同一过程延续的时间间隔测量结果都相同。由爱因斯坦相对论得出的结论是：两个做相对运动的观测者测量同一个事件发生的时间不相同，而且静止不动的观测者测量的时间间隔比相对于他做惯性运动的观测者用他随身携带的时钟测得的时间间隔要大，二者相差的倍数与相对运动速度有关。相对速度越大，相差的倍数也越大。这就是所谓时间膨胀效应。虽然表现时间相对性的这种效应极其微小，在相对速度小的情况下无法测出，但在科学技术高度发达的今天，时间的相对性已经被无数的高速运动的实验事实所证实。

4) 时间具有有限性

现有的天文观测资料表明，宇宙开始于约 150 亿年前发生的大爆炸。这说明，时间具有有限的过去，时间是有开端的。

1.4 时间是什么

人类对于时间之谜的兴趣由来已久，几乎同人的思想一样久远。最早的文字记载表明，人们一直对时间的性质困惑不解，也一直试图解开它的谜底。时间问题是世界上所有宗教的核心问题，它是几个世纪以来大多数教义分歧的根源所在；时间问题也是哲学家思考和议论最多的问题，古希腊哲学史就有很大的篇幅探讨永恒和