

时间观念的演化和演化的时间观念

陈克晶 周祝红

作者 陈克晶, 武汉大学哲学学院教授; 武汉, 430072。

周祝红, 武汉大学哲学学院硕士研究生; 武汉, 430072。

关键词 时间 存在的时间观念 演化的时间观念

提要 以往物理学中的时间观念是同人们一去不复返的时间感觉相脱离的。

当代自组织理论的发展, 根本转变了时间只是标示存在的观念, 确立了和人的主观感觉相一致的演化时间观念。这是物理学时间观念的重大变革。研究物理科学中时间观念的演化和演化的时间观念, 有助于探索自然和人类自身发展的秘密。

“君不见, 黄河之水天上来, 奔流到海不复回。君不见, 高堂明镜悲白发, 朝如青丝暮成雪。”李白这一千古传诵的佳句道出了人们感觉中的时间。时间如流水, 一去不复返。它的流逝支配着世代代人的出生、成长、死亡。谁都曾梦想过留住生命中的美好时光, 但却做不到。时间绝不等人, 更不会倒流。

然而, 奇怪的是, 物理科学的几座大厦, 不论是牛顿力学, 还是相对论、量子力学都不支持这种对时间的看法。在这些理论中, 时间是一种没有方向的参量, 完全可倒流。似乎单向的时间反倒不是真实的物理时间, 而是人们头脑中的幻觉, 一种“心理”的“主观”时间。

当代科学特别是自组织理论的发展, 根本转变了时间只是标示存在的观念, 揭示了不可逆的本质, 确立了和人们主观感觉相一致的演化时间观念。演化时间观念的确立是物理科学中时间观念的重大变革。

长期以来, 在物理学中, 不论是牛顿的经典力学, 还是爱因斯坦的相对论, 以至薛定谔、海森堡的量子力学, 时间都只是表示一种存在的持续性。不过, 它们表示的存在持续性的物理内容是各不相同的, 并且, 在一定的意义上, 正是这种不同, 标志了物理学从近代到现代的革命。

我们知道,牛顿1687年出版的《自然哲学的数学原理》建立了第一个逻辑严密的力学理论体系,为近代物理学的全面发展奠定了基础。牛顿在建立力学体系时,吸取了笛卡儿的时间空间是基本量纲的思想,从区分绝对时空和相对时空入手,把时间、空间从物理事件中剥离出来,提出了只是标示存在而又同存在不相联系的绝对时间、绝对空间观念。他说“绝对的空间,就其本性而言,是与外界任何事物无关而永远是相同的和不动的”。“绝对的、真实的时间,由于它自身的特性,与任何外界事物无关地,均匀地流逝。”^①就是说,世界上的任何事物都在绝对时空的框架中发生于某一时刻,占据着某一位置,而时间,空间则同它以外的任何事物无关。并且,时间,空间也是各自独立不相联系。世界上的不同空间位置的事物只是被“现在”这一同时刻所连接。

牛顿的绝对时间观念已经融入他的力学理论之中。具体表现是:首先,力学运动定律对伽利略变换保持不变。不同观察者用牛顿力学方程对同一运行物体描述时,由于参照系不同,各自的观测量会不同,但这种不同可以通过伽利略变换统一起来。而伽利略变换中,不同参照系的时间是同一的,不发生变换。也就是说,时间与任何运动参照系无关,不同参照系的同时性是绝对的。其次,在牛顿力学主方程即第二定律 $F=ma$ 中,物体质量与速度无关,外在于时空,因而加速度被抽象化为速度对时间的变化率即 $a=\frac{dv}{dt}$,而速度又是位移对时间的变化率 $v=\frac{ds}{dt}$,这样,牛顿第二定律中时间便不仅是绝对的流数,而且这一流数是无方向的,因为在 $F=m\frac{d^2s}{dt^2}$ 中,时间 t 不论为正还是为负结构都是一样的。所以,牛顿力学中的时间绝无演化的含意,只是表示一种存在的持续性;而且这种存在持续性还因其与任何外物完全无关而具有绝对空洞的性质。牛顿力学的时间是一种抽象的存在持续性观念。

长期以来,直至爱因斯坦提出相对论,物理学家从不怀疑牛顿的绝对时间观念,因为包含时间绝对同一性的伽利略变换被无数实践证明是有效的。但是,对于绝对空间观念,尽管牛顿设想了一个水桶实验来证明它的存在,物理学家却总是抱有疑虑。这不但是由于一直没有找到与绝对空间相联系的绝对静止的事物,而且伽利略变换就含着对绝对空间的否定。伽利略变换以相对运动为前提,它不给予任何参照系以绝对静止的地位。就是说,在牛顿力学中,绝对时间观念是排斥绝对空间观念的。

然而,物理学家并没有放弃寻找绝对空间的努力。他们从光的传播和光速的测定中看到了希望:如果能够确定运动光源对以太的不同的速度,就能从对以太的肯定中找到绝对空间存在的根据。然而,这种美梦在迈克尔逊—莫雷的精密实验中幻灭了。这便引出了根本否定牛顿的绝对时空观念的相对论。

爱因斯坦在他16岁时的时候产生一个奇想:如果乘上一辆光速列车追踪另一束光将会看到什么呢?依照牛顿理论的伽利略变换,应该看到停滞不前的振动波。而依照麦克斯韦电磁理论,电磁波传播速度是恒定的,上述景象不可能发生。迈克尔逊—莫雷实验的零结果充分表明了这一点。那么,问题出在哪里呢?爱因斯坦经过10年沉思,终于发现这是由于伽利略变换中的绝对同时性观念作祟的结果。抛弃了牛顿的绝对时间观念,爱因斯坦从狭义相对性原理和光速不变原理出发,推导出了取代伽利略变换的洛伦兹变换,建立了狭义相对论。狭义相对论与牛顿理论之不同,可以用一个简单的事例来说明。设想一光脉冲从一处传播到另

一处。在牛顿理论中，两个不同运动状态的观测者对这一过程所花时间的测量值是完全相同的，而对光走过的空间距离则会有不同的测量值。因而他们得到的光速值也就不同。而在狭义相对论中，不同运动状态的观测者测得的光速必定是一致的（这是以无数事实为基础的公设），这样，不但不同运动状态观测者对光走过的空间距离有不同测量值，而且对这一过程所花时间的测量值也必定不同。每个观测者都有自己的依运动状态为转移的时间测度。因而在相对论中时间不再是一种空洞的持续性，它是和观测者运动状态相联系的。爱因斯坦1915年建立的广义相对论对时间空间同物质存在的联系作了更深入的揭示。依照广义相对论，时空并不是平直的，它决定于引力场状态。而引力场状态是同物质分布相联系的，物质密度愈大，引力场就愈强，时空曲率即弯曲也就愈大。换句话说，空间—时间是由于物质的分布而弯曲的，弯曲时空也就是引力场。广义相对论中，时间空间成为了动力学量，当一个物体运动时或一个力起作用时，会影响时空曲率，时空结构也要影响物体运动和力作用的方式。

相对论根本变革了牛顿力学的时间空间观念。时间空间不再是外在于物质运动的框架，而是内在于物质运动，随物质运动状态不同而不同的物理量。这方面的革命意义无论怎样高度评价都不过分。但是在另一个基本方面，即坚持世界是存在着的，否认世界的演化，否定时间的方向性，却继承了牛顿的保守传统。爱因斯坦在完成了广义相对论后，随即发表了《根据广义相对论对宇宙学的考察》，提出了一个无界而有限的宇宙模型。这一模型是他在设定了一个宇宙学项后而从广义相对论方程得到的“宇宙学解”。按照这个宇宙学解，宇宙是一个封闭的时空区域，它虽没有边界，却是有限的。这一宇宙学模型虽然否定了牛顿的无限平直时空的宇宙，但却和牛顿的看法一样，是一个静态解。宇宙只是存在着的，而不是演化着的。这种静态解的宇宙模型和随后发现的河外星系普遍红移即宇宙在膨胀着的观测事实不相符，而且数学家弗里德曼证明，爱因斯坦提出的解是不稳定的。后来爱因斯坦也承认，这是他一生中最大的错事。但是，爱因斯坦并没从这一生中最大错事中吸取教益，改变世界是存在的可逆的观点。相对论本质上也是一种关于存在的物理学理论。尽管它揭示了时间对物体运动的依赖性，把被牛顿力学排除在外的时间作为同三个空间坐标相联的第四个坐标处理，以四维的“世界线”描述物理事物，然而沿“世界线”运动依然是没有方向性差别的，向前与向后没有不同，爱因斯坦的运动方程对时间取正值和取负值保持不变。正象牛顿力学不能解释人们所熟悉的许多不可逆过程一样，相对论也不能告诉我们，我们是在变老还是变年青。当贝索再三问他什么是不可逆，它与物理学定律的关系怎样时，爱因斯坦回答说：过去、将来的区别只是一种幻觉、一种主观印象，是没有客观意义的^③。因此，爱因斯坦时间观念和牛顿时间观念本质上有着一致性。如果说，牛顿力学的时间是一种空洞的持续性观念，那么爱因斯坦相对论的时间就是一种有着物质运动内容的物理存在的持续性观念。

量子力学的时间观念也是含有存在持续性意义的。这表现在量子力学的基础方程—薛定谔方程的决定性和可逆性上。它像牛顿和爱因斯坦的运动方程一样，给定波函数某个时刻的值，就可以严格推导出过去或将来任何时刻波函数的值，方程所描述的行为在时间上是可逆的，或者说方程对时间可以作可逆的变换。因此，时间同样是一个没有方向性质、只意味着存在持续的参量。但是，薛定谔方程的决定性和可逆性仅仅是对波函数的，而波函数所表示的是微观客体所有潜在行为的整体。波函数只是一种几率函数，一种数学上的可能性，当我们测量微观客体行为值时，就会发生无数潜在结果到某一观测结构的转换。波函数包含的无

数潜在性只有一种成为现实。这一过程称为波函数的“约化”或“坍缩”。显然,“约化”或“坍缩”反转来的过程不可能实现。这表明,系统状态的现在和过去是不可逆转的。量子事件的时间出现了方向性。因此,在量子力学中,时间观念又不再像牛顿力学和相对论那样只是一种存在持续性,而具有了演化的意义。

二

量子力学的时间虽然有了方向因素,但量子力学本身仍然是一种关于存在的物理学,并非一种演化的理论。到20世纪60年代末,物理学终于有了把不可逆和时间的方向提到基本地位的耗散结构理论。耗散结构理论充分揭示了热力学第二定律内含的“时间之矢”的意义,并在一种新的观念基础上探讨了可逆的动力学和不可逆的热力学的关系,从而建立了第一个演化的物理学理论。

热力学第二定律的发现,在以牛顿力学为基调的物理交响曲中参入了不合谐的乐声。因为热力学第二定律的实质内容在于对不可逆过程的肯定,这是违背牛顿动力学基本原则的。自克劳修斯把热力学第二定律表述为熵增原理起,物理学家就试图消除它与动力学理论之间的不合谐。不过,他们并没有认真面对不可逆过程的事实,而是囿于以动力学描述为基础的观念把第二定律看做是从迭加在动力学上的某些近似过程中得出的。也就是说,在他们看来,第二定律可以由动力学在某种条件下推导出来。这种条件就是,我们无法精确确定所有的动力学量,而只能是近似值或几率值。这意味着热力学第二定律的性质是主观因素造成的,不可逆是把无知明显地引入到基础定律中去的结果。爱因斯坦和玻恩都是这么看的。

然而耗散结构理论的创立者普利高津则抛弃了这种看法,改变了把热力学第二定律建立在动力学基础之上的传统观念,认为在“从生物学到宇宙学这样宽广领域的基本过程中,不可逆都起着一种重要的建设性作用”^③,熵增加及其隐含的“时间之矢”的存在是自然界的基本事实;应该把这一基本事实作为前提(就如爱因斯坦以光速不变这一基本事实作为公设一样)探讨它所暗示的关于空间、时间和动力学概念的变革,架设起力学和热力学相通的桥梁。正是在这一观念指导下,普利高津开始了对时间的新探讨,创建了耗散结构理论。

在对时间的新探索中,普利高津定义了时间算符 T ,通过 T 的运算我们可以得出一新的“内部时间”,它与在经典力学或量子力学中仅作为轨道或波函数标记的时间迥然不同。普通的作为动力学的标记、能在钟表上读出的时间变成了对这个新的算符时间取平均值。有了内部时间,就可引入时间对称破缺变换,从而能把热力学第二定律表述为一个选择原则即断言对称破缺变换可导出两个不同的时间方向,其中只有一个在物理上可以实现或观察到。引入这种变换的系统叫“内在随机系统”,而当选择原则也有效时就成为“内在不可逆系统”。普利高津认为,自然界虽然存在着一些完全可以用经典力学或相对论以至量子力学描述的“内在确定性系统”,这种系统是封闭的,行为具有决定性、可逆性,无法区别过去或将来,不存在有意义的时间方向,但它们只是自然界中的一个很小部分。而我们所面对的绝大多数系统都是开放的,它们不断地同周围环境进行着物质、能量、信息交换。在宏观层次上,它们都表现出演化和发展,有确定的时间方向。而其内部的微观结构,都具有复杂性、不确定性、远平衡性和对初始输入条件的高度敏感性。换句话说,它们都是一些“内在随机系统”和“内

在不可逆系统”，时时都在发生着微观时间对称破缺的变换。因此，宏观不可逆过程不是幻觉或无知的结果，而是人们尚未揭示的、深藏的时空结构的表现。

在现代物理学中，系统的状态是用一个算符的本征函数描述的，其本征值即算符代表的物理量，也就是该系统状态的可观察量。在经典量子力学系统理论中，是用刘维算符 L 来描述物理过程的，它以单个轨道或波函数为理论根据。普利高津尝试地定义了一个微观算符 M ，算符 M 和 L 不同，它通过一束轨道或分布函数来描述物理过程。在这种描述中，分布函数是最基本的，不再进一步约化为单个轨道或波函数， M 和 L 不可对易。同时，普利高津又相应地定义了一个“微观熵产生”： $-i(LM - ML) = D < 0$ ，这里，要么考虑到刘维算符的本征函数以决定系统的动力学演化，要么考虑微观熵算符以决定系统的热力学演化，而不存在两个非对易算符所共有的本征函数。由此可见，热力学描述和动力学描述又具有互补性。所以，在普利高津看来，存在两个对立的世界：一个是基于决定论方程由经典力学或相对论以至量子力学描述的存在的这个世界，这个世界具有封闭性、稳定性、可逆性，一旦给定初始条件，它的过去、现在和将来就一义地确定了；另一个则是过程世界或演化世界。对这个世界描述所依据的，是非线性的内在随机性方程，轨道为分布函数取代，初始条件不再可以任意选择，而是从先前的演化中生成，并通过后来的演变所确定。因此，这个世界的过去、现在和将来有着本质的区别，且将来是不确定的。换句话说，这是一个开放、不稳定、蕴含变化和发展因而能产生自组织的世界，内禀不可逆的时间之矢是它的本质特征。普利高津认为，我们在肯定不可逆的演化的世界时，也不要完全抛弃经典动力学描述的存在的这个世界。世界既存在又演化。既是有规律的，又是不确定的。人们不能只有一个单一的真理来描述它。

普利高津在探索从存在到演化时，特别强调指出，不可逆的内禀时间对称破缺是有序之源。一旦有了与随机性和开放性相连的内在不可逆和熵，就会形成导致高级组织的耗散结构。普利高津的整个耗散结构理论都是在论述有序和组织如何通过“自组织”过程从无序和混沌中“自发地”产生出来。普利高津认为，所有耗散结构都是非线性动力学系统，耗散结构理论就是一种“非线性动力学系统理论”。如果系统的动力学过程是线性的，那么它就是可逆的。而如果是非线性的，就一定会生出不可逆性来。非线性动力学过程联系着时间的方向性。

我们知道，在生物过程的每个层次上，从细胞内事件到细胞间的事件，从有机体内事件到诸机体间的事件都是不可逆的过程，即时间对称破缺的过程。而不可逆的时间之矢同时含有混沌和组织的配方。这是生命的两个方面，因为任何生命既可以出生成长，也必然衰老，死亡。而这两方面都联系着不可逆的非线性动力学过程。这里我们考察一例非线性不可逆的时间之矢导致自组织的研究成果：“糖钟”。糖钟是细胞内部的组织行为。作为生命的基本单位的细胞必须能够集中能源，而最直接的燃料就是 ATP，这是一种富含能量的关键生物分子，要维持生命就必须合成 ATP。ATP 一旦失掉磷酸群，就退化为 ADP，反过来 ADP 也可以经磷酸化过程转化为 ATP。绿色植物利用光合作用合成 ATP，动物则利用呼吸制造 ATP，有时也有酵解的方式，尤其是在血液输送有限的地方。酵解过程中能量的产生，ATP，ADP 的浓度都以一定的节奏振荡。整个过程由一种酶素 PFK 控制：每当细胞中 ADP 浓度高时，PFK 就打开，制造所需的 ATP 分子，如果细胞中 ATP 很丰富，PFK 就关上。PFK 利用 ATP 把磷酸群挂在糖分子上，从而使 ATP 转化为 ADP。而 ADP 本身又可激活 PFK 酶素使它更快地工作。这种反馈恰恰就是自组织所需要的那种自催化非线性行为。科学家用两组相互联系

的非线性微分方程来描述醇解节奏。这两组方程都内禀时间对称破缺因而存在不可逆的时间之矢。醇解节奏是生物界不可逆的时间之矢产生自组织的第一个公认的实例。

不可逆的时间之矢,非线性动力学理论,还被用来理解诸如:心脏的跳动,性别产生,群体生态学以及生命的产生、演进。这使我们不得不相信,时间对称破缺,不可逆是生命演化和创新的建设性因素,它能产生我们在大自然中看到的各种美丽的生命图案。

在宇宙演化学说里,最值得一提的是,霍金在他的宇宙自足理论中阐述的时间观念。霍金以其把相对论和量子力学统一起来的量子引力论为基础,不仅提出了“虚时间”和“时空有限无界”的新颖观念,还探讨了三种时间箭头之间的统一性问题。霍金认为时间之矢至少有三个箭头:一是热力学的时间箭头,它指向的是无序或熵增加;然后是心理学的时间箭头,这就是我们感觉时间流逝的方向,在这个方向上我们可以记忆过去而不是未来;最后是宇宙学的时间箭头,它指向的是宇宙的膨胀而不是收缩。霍金指出,宇宙的无边界假说预言的宇宙必须从光滑有序的状态开始,所以整个宇宙的热力学时间之箭指向无序和熵增,而我们对时间方向的主观感觉或心理学时间之箭是由我们头脑中的热力学时间之箭所决定,也就是我们必须在熵增加的顺序上将事物记住。所以,心理学时间箭头本质上应和热力学时间箭头相同。同时热力学时间之箭和宇宙学之箭也是一致的,因为智慧生命只能在宇宙膨胀相中存在(宇宙学时间方向指向宇宙的膨胀方向)“对于智慧生命来说,一个强热力学箭头是必须的。为了生存,人类必须消耗能量的一种有序形式——食物,又将其转化为能量的一种无序形式——热量。所以智慧生命不能在宇宙的收缩相存在,因为那儿没有强热力学时间之箭。”^④

可见,不可逆的时间之箭对智慧人类的存在来说有多么重要,用人择原理的话说就是:正是宇宙演化的膨胀,不可逆的时间之矢产生出同样内禀时间对称破缺的人类,并提出宇宙时间之箭和生命时间之箭是否一致的问题。同时,破缺的时间对称还提供给我们认识自然的一个根本要素,这个时间之矢没有把人和自然对立,相反,它把人类嵌入变化的宇宙中,而我们现在正是在一切层次的描述中发掘着这个变化的宇宙。

正如普利高津指出的:“二十世纪以来的一系列科技进展,现代宇宙学演化观念的确立,非平衡成为有序性的基本因素,都标志着时间的再发现。”^⑤时间对称破缺,不可逆性已成为自然界的基本事实及建设性因素。这一新的观念将会对科学探索揭示自然和人类自身的奥秘产生不可估量的影响。

注 释:

- ① (美) H. S. 塞耶:《牛顿自然哲学著作选》,上海人民出版社1974年版,第19页。
- ② 《爱因斯坦文集》,商务印书馆出版,1979年,第三卷,第498页。
- ③ (比) I. 普里高津:《从存在到演化》,上海科学技术出版社1986年版,第186页。
- ④ (英) S. 霍金:《时间简史》,湖南科学技术出版社1995年版,第138页。
- ⑤ 转引自曾国屏:“耗散结构理论,时间和认识论”,《自然辩证法通讯》1996年第2期。

(责任编辑 严 真)