

# 时间的沙漏\*

曹则贤†

(中国科学院物理研究所 北京 100080)

**摘要** 时间是什么?它是无限的还是轮回的?是没有开始的还是起源于一次大爆炸?是一维的还是半维的?是实数还是虚数?该取实数值还是整数值?是参数还是变量?所有这些关于时间的模棱两可的认识都表明物理学需要一个角色普适的时间.

**关键词** 时间

## The sands of time

CAO Ze-Xian†

(Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract** What is time? Is it infinite or cyclic? Nonbeginning or starting from a big bang? One dimensional or half dimensional? Real or imaginary? A real number or an integer? A parameter or a variable? All these to-be-or-not-to-be's indicate the desire for a universal role of time in physics.

**Keywords** time

子在川上曰：“逝者如斯夫，不舍昼夜”  
——《论语》



图1 世界物理年的徽标——沙漏

1905 年是爱因斯坦的奇迹年。在那一年里爱因斯坦提出了狭义相对论，解释了光电效应和布朗运动。为了纪念 100 年前爱因斯坦奇迹般的智慧闪光，联合国把 2005 年定为世界

物理年。世界物理年的徽标是一个沙漏(见图 1)，也是爱因斯坦狭义相对论基本概念之一光锥的图解。简单的四笔，勾出物理学最最基本偏又最棘手的问题——时间是什么？

再也没有一个物理问题能像时间是什么那样能吸引公众的注意力了。霍金(Stephen Hawking)的一本《时间简史》能在全球卖出两千多万册，读者的附

庸风雅只能算是部分的原因，对时间问题探究的兴趣以及以为对讨论的主题多少有些了解才是主要的。我儿子就学的中关村第一小学把《时间简史》和《果壳里的宇宙》定为小学生推荐阅读书目，着实把我吓了一跳。时间是什么？这是一个人类问了千百万次却还没能给出答案的问题。1600 年前，罗马帝国的神学家圣奥古斯丁(St. Augustin)给出了一个最狡黠的恐怕也是非常无奈的回答。他说：“当没人问我这个问题时，我是知道答案的，可一旦我试着解释的时候，我就懵然无所知了。”在一个严肃的当代物理学家眼里，“时间是什么”要比圣奥古斯丁所能感受的还要麻烦得多，吊诡得多。

\* 本文取名借鉴了美国剧作家 Sidney Sheldon 的小说“*The sands of time*”(Warner Books, 1989)。中文译本名为“四修女”。小说描写四位西斯廷修女跟随西班牙巴斯克地区 ETA 组织武装人员逃亡的经历，故事中不断穿插四位修女对过去时断时续的回忆。故名 2005-02-03 收到

† Email: zxcao@aphy.iphy.ac.cn

关于时间的最朴素的概念来自人类对月换斗移、四季更替的观察以及对自身生老病死之不可抗拒的绝望思考。人不可能趟入同一条河流顺势就演化出人类关于时间的朴素概念——一条连续的不断流淌的河。上升到数学的概念，就是一个从任何点开始单向延展的连续的实数，它可作为描述物理事件的参数（parameter），这是牛顿力学的基本假设之一。但是，同一个太阳每天都会从东方升起，朴素的时间观念就不可避免地加杂周期性的问题。变化让事件周期性地再现，不断变化的背景又凸显某个事件的周期性。所以，我们中文称之为时间“间”也者，可依某个不断再现的事件做分割也。一年可按日升日落分为365个间隔。印度文明观照的是个轮回的世界。西洋文明也是如此，所谓时间，temp→time，本意是节奏的意思。天地万物各依其节奏，才让我们有了引入时间概念的必要。

物理学关于时间的认识是不断进步、不断深入从而不断让物理学家倍感挫折的过程。在描述许多物理现象的理论体系中，比如描述地球绕太阳旋转的经典力学，时间的方向不是一个问题。它的方程在时间反演下依然成立。也就是说如果把时间 $t$ 换成 $-t$ ，物理定律不受影响。可是，对于热力学系统，时间获得了箭头。在一个封闭的热力学体系内，它的熵——关于有序的度量——恒增加，这就是热力学第二定律。对于像我们人类这样的开放的耗散体系，热力学第二定律要求我们每天要好好吃上几碗干饭，否则这个有序体系的熵就会增加，就会随风而去。当然，就算我们每天都好好吃饭，吃好好的饭，时间的箭头依然指向让我们衰老的方向。返老还童是另一版本的永动机，只能存在于童话世界。

时间有箭头不仅仅是个认识论上的问题，它还带来实际的技术上的困难。对于扩散这样的问题，时间的箭头是比较明显的。因此一个二维空间的扩散问题常常被表述为解 $2+1$ 维微分方程的初始条件问题或边界条件问题。这里的“1”维指的是时间 $t$ ， $t \in [0, \infty)$ ，它分明只构成半维空间。也就是说，这是一个二加半维问题。可是，除非是爱叫真的理论物理学家，没人会在自己研究中惹这个麻烦——谁愿意为了研究一滴墨水如何玷污他的A4稿纸去费心修习分数维微积分呢？三维半时空结构早已有深入研究，却未能走入大学课本为物理系的研究生所获悉，便是明证。

时间不仅有方向，物理学家认为它还有确定的起点。依据天文学观察到的宇宙膨胀速度，人们推测

宇宙起源于 $10^{17}$ s之前的一次大爆炸（千万别把这个爆炸理解成高压锅闹出的动静，虽然有些书有类似的插图），这就是所谓的大爆炸理论。这个大爆炸时刻是一切时间的起点。据天体物理学家讲，问大爆炸以前的宇宙是啥样是相当愚蠢的。但是，依据人类短短几十年时间内所作的天文学观察就线性地，注意是线性地，把时间推到 $10^{17}$ s前的某个时刻并把它当作一切的起点，确实是非常大胆的举措。大爆炸假设的是线性的时间。可是，那宇宙初始时的节律真的如人类近三百年来（从牛顿写作《自然哲学之数学原理》算起）感知的那样平直吗？如果引力常数 $G$ 、强相互作用耦合常数 $g$ 都是变化着的话，时间结构自身大尺度上就不能是弯曲的吗，一如大质量星体周围的空间？

确立了起点和箭头的的时间还有其他理解上的麻烦。在爱因斯坦狭义相对论的框架里（不考虑起点和箭头的问题）时间获得了和空间某种意义上的平等，体现在Lorentz变换的表达中，因此他们被合称为时空（spacetime）。时间和空间一样有正负值，过去和未来一样可以触及。这个时空合一的概念激起了哲学家、艺术家、文学家、业余科学家等等一大批不用投身其中就能深刻理解物理的人们莫名的狂热，于是就有了各种版本的《回到未来》<sup>1)</sup>式的荒诞。可是，Minkowski空间绝不是常规意义上的四维空间。那个和空间某种形式上等价的量，不是时间 $t$ ，而是一个可表达为 $ict$ 的更难理解的东西。相应地，四维动量矢量为 $(P, E/ic)$ 。站在黑洞边界上的霍金迈出了更远的一步，为了实现量子力学和相对论在他的引力理论中的统一，他干脆试图另外引入一个称为虚时间的东西。

时间是什么还涉及到它在物理学中的角色问题。在量子力学的框架里，一如经典物理，时间是个参数，而空间位置和动量能量一样，是算符，是需要并且可以测量的力学量。在量子场论里，空间也成了参数，可空间和时间并非等价的。费曼积分是需要时间排序算符 $T_r$ 专门处理的。李政道先生1984年在中国科学技术大学做了“时间作为变量的物理学”的报告，显见他试图赋予时间以变量的角色来完成狭义相对论与量子力学的某种统和。那时作者虽然未能理解先生报告之粗枝大叶，遑论其精髓，但这个报告的题目一直铭刻在心。二十年过后，物理学家对此问题依然是一筹莫展，李政道先生的壮志依然未

1) Back to the future, 由Robert Zemeckis 1985年制作的关于时间机器的科幻题材电影——作者注

酬。

“时间是什么”是一个严肃的物理学基本问题，无疑会引起许多人的兴趣。但笔者觉得有必要提醒一下，对时间是什么这个问题的回答，不能是停留在形而上学层次上的思辩，正确的时间概念，应能让我们凭着此概念构建一个更加理性、更加自洽、更加严密的理论物理框架。

结束语：时间是一个我明白我并不明白的概念（Time is a concept that I understand that I don't understand），但我希望我把我的不明白讲明白了。

### 参 考 文 献

有兴趣的读者可以在下列参考书目中找到更详细的内容：

- [ 1 ] Peter Coveney and Roger Highfield. The Arrow of Time. Whallen ,1990[ 中译本：江涛，向守平译。时间之箭。长沙：湖南科学技术出版社，1995 ]

- [ 2 ] Stephen Hawking. A brief history of time ,Bantam, 1998[ 中译本：许明贤，吴忠超译。时间简史。长沙：湖南科学技术出版社，2002 ]
- [ 3 ] Stephen Hawking. The universe in a nutshell. Bantam ,2001 [ 中译本：吴忠超译。果壳里的宇宙。长沙：湖南科学技术出版社，2002 ]
- [ 4 ] Stephen Hawking , Roger Penrose. The nature of space and time. Princeton University Press ,1996
- [ 5 ] Roger Penrose. Spinors and Space - time. Princeton University Press ,1988
- [ 6 ] Katinka Ridderbos ( Ed. ). Time. Cambridge University Press , 2002
- [ 7 ] Ilya Prigogine. Order out of chaos. Bantam ,1984[ 中译本：曾庆宏，沈小峰译。从混沌到有序。上海：上海译文出版社，1987 ]
- [ 8 ] G. Nicolis , Ilya Prigogine. Self-Organization in Nonequilibrium Systems :From Dissipative Structures to Order through Fluctuations. John Wiley & Sons ,1977[ 中译本：徐锡昆等译。非平衡态系统的自组织。北京：科学出版社，1986 ]
- [ 9 ] Frank Wilczek. Physics Today ,November 2004 ,19

· 物理新闻和动态 ·

## 从碳核的研究中理解星体的形成

尽管在 20 世纪 50 年代科学家们就首次发现了星体如何集聚原子核，他们现在仍然无法给出在很宽的温度范围内决定着  $3\alpha$  过程（ $3\alpha$  过程是指 3 个氢原子核转变为碳的过程，在晚期红巨星和红超巨星中，星体温度超过  $10^8\text{K}$  时这个过程才能发生）的反应率的碳原子核的关键属性。现在，由于使用同位素在线分离方法产生和分离同位素，以及粒子探测器的发展，研究者们已经可以解决这个难题。

由包括西欧核子中心（CERN）在内的欧洲的 8 所大学和研究室的 30 多名人员构成的合作组首先分离出短寿命的同位素  $^{12}\text{B}$  和  $^{12}\text{N}$ 。通过  $\beta$  衰变，它们转化为  $^{12}\text{C}$ ，处于  $^{12}\text{C}$  的各种共振能级上，并进一步分裂为 3 个  $\alpha$  粒子。通过精确测量这些样品发射的  $\alpha$  粒子的时间和能量，小组推断出碳核衰变以前的能量、自旋和宇称。

由于  $^{12}\text{C}$  可以在  $^8\text{Be}$  和  $^4\text{He}$  的总能量附近的一些特定能量下存在， $3\alpha$  过程发生的几率更大。在大多数星体的温度范围内（ $10^8$ — $10^9\text{K}$ ），7.65MeV 处碳的 Hoyle 共振决定了  $3\alpha$  过程的反应率。但是在更高和更低的温度下，其他的共振开始起作用，这些共振有些已被观测到，有些仍只有理论上的预言。

在最近的实验中，研究者们确定了 10MeV 附近的宽共振的自旋和宇称。这个共振在 1958 年首次被发现，先前的测量确定它位于 10.1MeV（宽度 3MeV），但是其自旋 - 宇称只能被限定为  $0^+$  或  $2^+$ 。最新的研究确定这个共振位于 11.23 MeV 处，宽度为 2.5MeV，它的自旋 - 宇称是  $0^+$ 。

研究小组还对长期以来理论上要求的 9.1 MeV 处宽度为 0.56 MeV 的  $2^+$  共振进行了寻找。如果它存在，它将在温度  $10^9\text{K}$  以上起非常重要的作用。但是并未发现它存在的迹象。然而，为了拟合实验数据，需要引入一个位于 13.9 MeV 处、宽度为 0.7 MeV 的  $2^+$  共振。研究者们据此在相当宽的温度范围内（ $10^7$ — $10^{10}\text{K}$ ）重新计算了  $3\alpha$  过程的反应率。与原来的反应率计算值相比，新的反应率在低温（ $10^7$ — $10^8\text{K}$ ）时显著变快；在 Hoyle 共振起主导作用的中温范围内，反应率不变；而在高温（ $10^9$ — $10^{10}\text{K}$ ）时反应率则变化缓慢。

这个修订后的事例率在天体物理学中有几个含义。其中之一是，在宇宙最初的星体中，没有碳元素，在相对低温开始燃烧，氢聚变的唯一形式是通过质子 - 质子反应链。一旦通过  $3\alpha$  过程而产生足够的碳，CNO（碳 - 氮 - 氧）反应链便开始。由于有了更高的  $3\alpha$  的事例率，这个过程可能只持续了以前普遍认为的时间的一半。另外，在 II 型超新星中， $10^9\text{K}$  以上的低事例率意味着产生的  $^{56}\text{Ni}$  的份额要低于以前的设想。

（兰思 编译自 Nature ,2005 433 :136）