



从弦的对偶性到爱因斯坦与玻尔的对偶性

王德奎 (Wang Dekui)

绵阳日报社, 绵阳, 四川 621000, 中国, y-tx@163.com

摘要: 如果说, 量子计算机信息论能提高人们对信息是宇宙中除物质和能量外的第三个“要素”的认识, 恐怕还为时过早。特别是在我国, 还需进行多年的从弦的对偶性到爱因斯坦与玻尔的对偶性等知识的全民大补课。

[王德奎 (Wang Dekui). 从弦的对偶性到爱因斯坦与玻尔的对偶性. *Academ Arena* 2024;16(1):164-167]. ISSN N 1553-992X (print); ISSN 2158-771X (online). <http://www.sciencepub.net/academia>. 03.doi:[10.7537/marsaaaj160124.03](https://doi.org/10.7537/marsaaaj160124.03).

关键词: 对偶性、弦论、爱因斯坦、玻尔、三旋理论

如果说, 量子计算机信息论能提高人们对信息是宇宙中除物质和能量外的第三个“要素”的认识, 恐怕还为时过早。特别是在我国, 还需进行多年的从弦的对偶性到爱因斯坦与玻尔的对偶性等知识的全民大补课。因为对于什么是物质和能量, 也许大家都知道; 对信息也有认识。但对什么是量子计算机信息论, 大家知道的不多。

如它已经能给“信息”作出一个完整、全面的定义; 即所谓信息: 是除物质和能量外包含时序与概率的第三个“要素”, 既能包容“对与错”, 又能包容“克隆与不可克隆”的结构与交换。

这个起因是 1968 年弦论的开创者维尼齐亚诺 (Gabriele Veneziano), 萌生用的描述核子中质子和中子及其作用力, 如夸克被禁锢在质子或中子内, 彼此就好似用橡皮弦把它们拴在一起作的模型。这个模型的核心概念是基本粒子并非点状物, 而是无限细的一维实体, 也就是弦。在基本粒子庞大的家族中, 每种粒子都有自己的特性, 这反映在一根弦有多种可能的振动模式上。这样一个看似与小提琴弦没两样, 只不过其上的振动以光速传播的“量子弦魔术”, 一旦把量子力学套用到振动的弦上面, 崭新的性质便出现了。

首先, 量子弦的尺度有限。如果不考虑量子效应, 一根小提琴弦可以一分为二, 再一分为二, 这样一直分割下去, 直至最后变成一些无质量的点状粒子。但是分割到一定程度, 海森堡的测不准原理就会介入, 防止最轻的弦被分割到 10 的-34 次方米以下。这个不能再分割的长度量子, 用 l_s 表示, 是弦论引入的一个全新的自然常数, 与光速 C 和普朗克常数 h 并列。它在弦论的几乎所有方面都起着决定性的作用,

为各种物理量设定了上下限, 防止它们变成零或无穷大。

其次, 就算没有质量的量子弦, 也可以有角动量。在经典物理学中, 角动量是绕轴旋转的物体所具有的一种性质。计算角动量的公式是速度、质量以及物体到转轴距离三者之乘积, 因此无质量的物体不可能具有角动量。但在微观世界中, 由于存在量子涨落, 一根微小的弦即使没有任何质量, 也可以获得不超过 $2h$ 的角动量。这一性质如传播电磁力的光子或者传播引力的引力子, 同所有已知的基本作用力载体的性质不谋而合, 而让物理学家注意到弦论中含有量子引力。

量子弦在通常的 3 维之外, 还存在额外的空间维度。经典的小提琴弦, 不管时空的性质如何, 都可以振动。但要使描述量子弦振动的方程能够自洽, 时空必须是高度弯曲的, 否则它就应该含有 6 个额外的空间维。在物理方程中, 物理常数现在不再具有任意给定的固定值, 它们在弦论中以场的形式出现, 就如电磁场一样, 可以动态地调整它们的数值。在不同的宇宙时期或者在相隔遥远的空间区域, 这些场可能取不同的值。这其中的所谓“膨胀子场”是整个弦论的关键, 它决定了所有作用力的总强度。这是因为它的量值, 可以重新解释为一个额外空间维的尺度, 从而给出一个 11 维时空。

一、弦的对偶性

宇宙中物质与能量对偶性的发现, 最精典的是超弦理论中的 T 对偶性、S 对偶性以及弦-弦对偶性。因为与物质相比, 能量相对来说是较抽象的, 但反过来也提供了一种抽象的超对称性, 必有正负对

称和倒数因子的比例对称的图景：把橡皮绳看作物质，也代表质量，那么橡皮绳的张力和振动就代表了能量。一根橡皮绳圈的粗细定了，其质量的大小只与橡皮绳的长短有关。如果橡皮绳圈的粗细和长短都定了，其张力或能量的强度大小，就与橡皮绳圈缠绕的振动方式或环绕方式有关。其极小尺度上的自然界性质的具体分析如下。

由于存在两种超对性形式的缠结，物体相互作用的强度，在一个宇宙表现为荷的东西在另一个宇宙中就可能表现为尺寸。即它们的荷与看不见的维的尺寸有关。例如，一个薄膜和时空一维如果同时收缩能够产生一根弦，即当基底空间用一张两维的纸表示，卷绕成一个圆筒时，薄膜就把它包裹起来。这个弯曲的一维收缩成一个极小的圆，以致 2 维空间最终看起来就象是一维的直线一样，而紧紧卷绕起来的薄膜这时就类似于弦。

在这样小的尺度上，由于缠结的作用，宇宙看起来仍将同大尺度上的情况一样。道理是，从振动方式和环绕方式两类能态看，圆筒较粗，振动通常将具有较长的波长，而能量则较低；因此，对应于环绕圆筒的不同波数的能量其间隔是比较小的，即是密近分布。

这类似像一根拉长的橡皮筋那样的环绕方式，较粗的圆筒，弦就需拉伸得更长，从而需要更多的能量。因此，对应于不同的环绕圈数的能态的能量，相隔得就比较宽。反之，来看一根细圆筒的能级，振动在细圆筒上的波的波长较小，因而具有较高的能级，这样振动能态之间就相隔比较远。另一方面，环绕圆筒的环圈所需的能量则减少，因而环绕方式之间的间隔就变小了。但这些区别，对于外面的观测者来说，振动能态和环绕能态的不同物理起源是看不到的。细圆筒和粗圆筒最终都将给出相同的能级。因此，细小时空的微尺度可能产生出和我们宇宙的大尺度完全相同的物理性质。

这个用物质质量与能量的“对偶性”（duality），换取了空间尺寸大小的对立，而改变了人们对尺度极小的微观世界直觉的发现，是很重要的。我们可以再讲一遍。这种所谓的对偶性，类似通常情况下，弦越短便越轻，但如果想要把弦的长度缩短到基本长度 l_s 以下（即接近普朗克长度 10^{-33} 次方厘米），那么弦反而会重新变重。这称为 S 对偶性。而称为 T 对偶性的另一种对称，是指额外的维度都是等价的，而与其尺度无关。其道理是，例如假设一个圆柱状空间上的一根闭合弦（称为圈），此空间的圆形横截面代表一个有限的额外维。弦的运动方式可以比点状粒子更复杂。

除了振动之外，该弦还能整个地绕圆柱转动，或者缠绕于圆柱一圈或数圈，就像橡皮筋绕在纸筒上一样。在这两种状态下，弦的能量消耗与圆柱尺度有

关。如卷绕的能量与圆柱的半径成正比。其道理是，圆柱越大，弦就拉伸得越厉害，因此其卷绕所含的能量也就越多；但是，当整个弦绕圆柱运动时，其能量就与圆柱半径成反比了。

其道理是，圆柱越大，波长就越大（相当于频率越低），因而能量就越小；如果用一个圆柱取代小圆柱，那么两种运动状态就可以互换角色。由于先前由圆周产生的能量现在改由卷绕产生，而先前由卷绕产生的能量则通过圆周运动产生，这两种情况，外部观测者看到的都只是能量的大小而不是其起源；对外部观测者而言，圆柱半径无论大小，在物理学上都是等价的。这就是指额外的维度都是等价的。

因为在爱因斯坦的方程里，不存在这类对称性，弦论要实现相对论和量子论的统一，就此自然地用上了派场；其中起了关键的作用的，就是膨胀子。即圆周空间的一个维度是有限的，T 对偶性通常是用圆周状空间来描述。而圆周的一个变种也适用于通常的 3 维空间，但这种空间的每一维都可以无限地延伸下去，因此必谨慎。

当然，无限空间总的大小是不会变化的，它永远都是无限大。但这种空间内所包容的诸如星系之类的天体，却可以彼此相距越来越远。从这个意义上说，无限空间仍然能够膨胀。关键的变量不是整个空间的大小，而是它的尺度系数，即衡量星系间距离变化的数值；它表现为天文学家所观测到的星系红移。根据 T 对偶性，尺度系数较小的宇宙，等价于尺度系数较大的宇宙。这就是 T 对偶性的应用。

其次，T 对偶性不仅适用于闭弦，也适用于端头是松开的开弦。例如，假设半径出现由大到小或由小到大转换的情况，弦端点处的条件也就会发生相应的变化，这下 T 对偶性就适用于开弦。从而使假定的边界条件是弦的端点，不受任何力的作用可以自由地甩来甩去的情况，在 T 对偶性下，就要求这些条件变成端点处于固定状态的所谓 Dirichlet 边界条件。而任何给定的弦可以兼有两类边界条件。

例如，电子所对应的弦其端点或许可以在 10 个空间维的 3 维中自由运动，但在其余 7 维中却是固定的。这 3 个维就构成了一个名为 Dirichlet 膜（D-膜）的子空间。而我们所在的宇宙，就位于这样一种膜上。在超弦理论中，电子和其他粒子只能在一部分维中运动，这就是为何我们无法领略空间整个 10 维的问题。

二、爱因斯坦与玻尔的对偶性

能否学超弦理论用物质质量与能量的对偶性，换取空间尺寸大小对立的办法，改变半个多世纪以来许多理论物理学家和哲学家，夸大爱因斯坦与玻尔之间分歧的误导？今天量子计算机信息论，提供了这种对偶性。

笔者 1991 年在《华东工学院学报（社）》第 3

期发表的《三旋理论与物理学的有关问题》论文，提出的三旋分形宇宙演化自然扩张与收缩的缠结，为宇宙大爆炸与引力之间的不协调的差别作出了数学的解释；同时它对大爆炸之前与大爆炸之后的宇宙缠结解释，已为现在宇宙学观测表明的宇宙将永远膨胀下去的结局作了注脚——这个大爆炸之后的宇宙未来，又是与大爆炸之前缠结的。因为这两个宇宙从正与负趋向零的空间都无限广阔、空虚、寒冷且平坦，它们之间的转折点正是模糊宇宙。而且反过来看大爆炸产生的宇宙膨胀，正对应着分形宇宙图象中的扩张，而宇宙星体、物质之间的引力，也对应着分形宇宙图象中的收缩。因此从总的宇宙缠结上看，将永远膨胀下去的开放宇宙比膨胀将几乎停下来的封闭宇宙更真实。

其次，三旋缠结宇宙的分析还说明，超对称性必有正负对称和倒数因子的比例对称，这是两种数值大小对称的缠结形式。这两种形式的缠结对称运用到三旋结构上，可以类似超弦理论中的 T 对偶性、S 对偶性以及弦-弦对偶性，解释引力与强力、电磁力、弱力粒子之间的巨大差别的颠倒。而联系到 1970 年，物理学家霍金与彭罗斯研究奇点黑洞证明，时间不可能一直回溯下去。如果把宇宙历史一直往回倒退，所有的星系终会挤到一个无穷小的点上，这即称为奇点。

这时每个星系或其前身都被压缩到零尺寸，而密度、温度和时空曲率等物理量则变成无穷大。奇点就是宇宙万物的起点，超过这一界限，宇宙的空间就会破裂，爱因斯坦的广义相对论也就失效了。

联系到 1982 年，Wotters 和 Zurek 提出所谓的量子不可克隆定理：即一个未知的量子态不可能被完全精确复制；一个关于爱因斯坦研究的宏观物质与玻尔研究的微观物质之间的信息时序与概率的对偶性就出现了。

因为笔者开始理解爱因斯坦关于“我不相信上帝在掷骰子”的话，是爱因斯坦从宏观物质的清楚、精确的信息非常多，而不可克隆，说的对物质实体、实在、结构最为本质的看法。在信息时序与概率对偶性这一点上，爱因斯坦和玻尔并没有本质的分歧。下面就以“克隆与不可克隆”范式，对微观物质和宏观物质作一下对比分析研究。

1、由于事物能“一分为二”或有“双重解”结构，例如物质可分为微观物质和宏观物质，我们也把信息“一分为二”，类似“实体”的信息，设叫“结构信息”；类似“关系”的信息，设叫“交换信息”，这仅是和“克隆与不可克隆”作的近似对应，即假设“交换信息”是“可克隆”的，而“结构信息”是“不可克隆”的。现以“人”代表宏观物质，以“量子”代表微观物质，作对比分析研究。

2、从时序上来说，宏观物质“结构信息”的“人”，

只能从“活”到“死”，不能从“死”到“活”。这是非常清楚、精确的信息；因一个“人”的清楚、精确的信息非常多，这是不能作假的，所以这个真“人”，“不可克隆”，即真品克隆就成了赝品。但宏观物质“结构信息”的“人”的这种清楚、精确的信息虽然非常多，而类似发生从“活”到“死”的概率少，且类似发生相同信息的间隔也大，所以是一种弱“不可克隆”。因此对“交换信息”的“人”，是可以克隆的，例如戏剧、电影，扮演真人的演员这种克隆“人”，就可以从“活”到“死”，也可以从“死”到“活”。其原因不光是改变了时序问题，而且还存在“速度”问题。从速度上来说，宏观物质一般远离“光速”，“结构信息”的“人”也远离“光速”，因此“交换信息”的“人”容易“克隆”，而且这是一种强“克隆”。

3、再说微观物质，由于存在不确定性原理，量子存在涨落，因此好似不清楚、精确的信息非常多，容易克隆，即如俗语说的：“画鬼易，画人难”，因为人，大家清楚，而鬼大家不清楚，可随便画。但事实上，从时序上来说，“结构信息”的“量子”不但能从“存在”到“消失”，而且也能从“消失”转到“存在”，这些清楚、精确的信息非常多，因此“量子”克隆既难又不容易。其次，从速度上来说，微观物质一般接近“光速”，“结构信息”的“量子”也接近“光速”，量子涨落的速度也接近“光速”，而且这种类似相同信息发生的间隔小，概率又多，因此“量子”是“不可克隆”的；而且这是一种强“不可克隆”。是否“交换信息”的“量子”也不可克隆的呢？这要取决于具体情况。否定随机性的学者认为，随机性并非无序性；在真正的无序系统中，小误差会以几何级数迅速发展，所以类似掷骰子的随机或概率是由两个原因引起的，一是像掷骰子一样，人们不知道它的初始状态；二是它的无序运动。

量子不可克隆为量子编码的绝对安全性提供了基础，但也存在概率误差迅速发展的环节。这让我国以郭光灿、段路明教授为首的科学家独辟蹊径，避开量子不可克隆的研究方向，提出了“量子概率克隆机”，这一理论随后被国际许多著名的实验室所证明，被誉为“段-郭概率克隆机”，他们推导出的最大概率克隆效率公式，被国际上称为“段-郭界限”。其原理是，量子态在超辐射的条件下会发生集体效应，能在消相干的环境下保持其相干性，这一研究成果被国际学术界称为“无消相干子空间理论”。他们运用“无消相干子空间理论”，在国际上首创了“量子避错编码原理”，从根本上解决了量子计算中的编码错误造成的系统计算误差问题。即这里“交换信息”的“量子”的克隆，是一种弱“克隆”。

4、综合上述“信息”的“双重解”结构，结构信息观察、测量的事物不管是强“不可克隆”，还是弱“不可克隆”，一般是指“不可克隆”的结构交换。而交换

信息观察、测量的事物不管是能强“克隆”，还是弱“克隆”，一般是指能“克隆”的交换结构。所谓的观察、测量，其本质也是一个“克隆”问题。而量子计算机的计算本质也不类似电脑是一个提高“克隆”质量的问题，而是一个把“不可克隆”的问题，转化为一个可观察、测量的“克隆”问题。因此，信息是除物质和能量外包含时序与概率的第三个“要素”，既能包容“对与错”，又能包容“克隆与不可克隆”的结构与交换。

这里，包容“对与错”，就有“熵”的存在，也有不确定性的消除或减少。这里，包容“克隆与不可克隆”，就有“构成论”与“生成论”，或“物质实体”与“关系实在”，或“自在实体”与“现象实体”的存在，也有“显析序”与“隐缠序”，或“现实世界”与“可能世界”的分辩。这里再以爱因斯坦针对玻尔的量子论的关于“我不相信上帝在掷骰子”的说法作些分析。这个跨世纪影响的争论，其实从信息对偶性看，爱因斯坦与玻尔之间没有矛盾，他们俩人研究的都是“结构信息”，得出的研究成果也都是“交换信息”，只不过爱因斯坦的相对论研究的宏观物质和玻尔的量子论研究的微观物质，其研究成果宏观物质与微观物质的“交换信息”，在“克隆与不可克隆”方面有强和弱的对偶性差异，而20世纪只有电脑信息论而没有量子计算机信息论，因此让他们俩人讨论了半天无结果。

参考文献

- [1]王德奎，三旋理论初探，四川科学技术出版社，2002年5月；
- [2]叶眺新，三旋理论与物理学的有关问题，华东工学院学报，华东工学院学报（社），1991年第3期；
- [3]王德奎，环量子理论与三旋理论，凉山大学学报，2004年第2期；
- [4]叶眺新，量子计算机与双螺旋结构的三旋联系，延边大学学报（自），1999年第1期；
- [5]孔少峰、王德奎，求衡论----庞加莱猜想应用，四川科学技术出版社，2007年9月；
- [6]王德奎、林艺彬、孙双喜，中医药多体自然叩问，独家出版社，2020年1月；
- [7]王德奎，解读《时间简史》，天津古籍出版社，2003年9月；
- [8]王德奎，观控相对界与信息范型----纪念刘月生教授诞辰84周年整理原文重发，Academ Arena, June 25, 2022。

11/22/2023