

## 量子十问之三

## 量子技术能将人“瞬间”转移到别的星球上吗？

郭光灿<sup>†</sup>

(中国科学技术大学 中国科学院量子信息重点实验室 合肥 230026)

2018-09-12收到

<sup>†</sup> email: gguo@ustc.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20181207

经常听到有人议论，“‘量子技术’太神奇，可以实现时空穿越，将人‘瞬间’转移到别的星球上！”果真如此吗？这一问我们就稍微仔细地讨论这个问题。此说法主要依据所谓“量子隐形传态”这个经典物理无法做到的神奇过程。

量子隐形传态的英文是“Quantum Teleportation”。首先，“Teleportation”的含义是“远距传物”，通常在科幻电影或神话小说里出现，人或物在某地突然消失，瞬间在远处重现。现实中当然无法做到，但“量子纠缠”出现后，科学家提出“量子隐形传态”的方案，可以使量子信息或者称量子态在某处消失，随后在远处重现，有点像上述神话中的“远距传物”。具体过程如图1所示。

Alice 有粒子 C，处于量子态  $|\psi\rangle_c$ ，她希望将此量子信息  $|\psi\rangle_c$  传送给远处的 Bob，但信息载体 C 本身仍保留在 Alice 处。假设 A、B 是来自于纠缠源的两个粒子，分别传送给 Alice 和 Bob，由于 A 和 B 处于纠缠态，因此 Alice 和 Bob 就有了量子关联的通道，只要一方被测量，另一方的量子态会瞬时发生相应的变化。此时，Alice 处拥有两个彼此独立的粒子 A 和 C，她对 A、C 进行一种所谓的 Bell 态测量，这种测量可能有 4 种结果（即 4 个不同的 Bell 态），各自概率为 1/4。Alice 做一次测量，获得其中一个结果（即某个 Bell 态），随后，测量结果经由一个经典通道传送给 Bob，Bob 获取此经典信息后，对粒子 B 实施相应的操作，结果粒子 B 便处于量子态  $|\psi\rangle_c$  上，亦即量子态从 C 传给了 B，这就是所谓的“量子隐形传态”。这个过程中，Alice 和 Bob 可以完全不知  $|\psi\rangle_c$  是什么态，C 和 B 也可以不是同一类的量子客体。

Alice 对 A、C 实施 Bell 态测量后，ABC 整个量子系统究竟发生了什么改变？(1) C 的量子态改变了，亦即原来量子态  $|\psi\rangle_c$  消失了，C 处于别的量子态；(2) A、B 不再处于纠缠态，AB 之间量子关联中断了；(3) B 处于 4 种可能的量子态之一，究竟是哪个量子态取决于 A、C 的 Bell 态测量的具体结果；(4) A 与 C 处

于 4 种可能的纠缠态，各自概率为 1/4。

在“量子隐形传态”过程中，量子态  $|\psi\rangle_c$  究竟是怎么被传送到 B 上的呢？我们无法按通常的传送信息方式来想象这个过程，正因为如此，故采用“隐形”来描述这种状况。一般理解说， $|\psi\rangle_c$  的信息被分成两部分，一部分经由 AB 的纠缠量子通道传到 B，另一部分是测量所得的经典信息经由经典通道传送给 B。Bob 实质上是将两部分纠缠起来，使量子态  $|\psi\rangle_c$  精确地赋予 B 粒子。单独从量子通道或经典通道获得信息都无法实现量子隐形传态，因此在这个过程中，两个通道是必不可少的。既然必须采用经典通道传输信息，这个过程的实现决不可能超光速。所以，量子隐形传态决不可能是“瞬时”的，不会发生超光速现象。

另一点特别要强调的是，A、B、C 都应当是量子客体，它们可以不属同一类，可以分别是光子、原子、电子等，但都遵从量子力学规律。结论是，量子隐形传态是量子客体之间的一种“非瞬时的”量子信息传送的过程。

这个结论否定了经典客体之间实现这种隐形传送信息的可能性。经典信息的传送必须有物理载体的携带才能实现，这种物理载体可以是声波、电磁波(包括光波)、引力

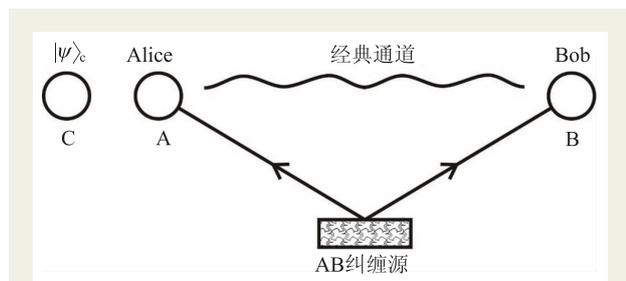


图1 量子隐形传态方案示意图

波等。

当然，如果C不是单个粒子，而是由许多粒子构成的复杂量子客体，而量子态可以表达为 $|\psi\rangle_c$ ，我们同样可以经由量子隐形传态将 $|\psi\rangle_c$ 传送给B。

如果C不是量子客体而是无法用量子态描述的经典客体，而A、B是量子客体，那么C所携带的经典信息仍然无法用此方式传送到Bob处而保持C仍留在原处。此外，量子隐形传态仅仅传送量子客体C所携带的量子信息(即量子态)，量子客体C并未消失，因此不能说，如果B与C是同类物质就可实现量子客体从某处传送到另处。自然客体具有“物质、能量、信息”三要素，只有这三个要素都消失才可以说该客体被消失了。

至此，我们可以很容易地回答本文的命题，答案是量子技术不可能将人“瞬间”转移到别的星球！即使是非瞬时地采用此过程也不能将僵尸、棉衣之类的传送到别的星球！

“量子隐形传态”是量子纠缠的一种奇妙应用，并被实验所验证。这个过程已成为量子通信等的重要物理基础，已开辟出具有潜在应用价值的新技术。

量子纠缠是量子技术的重要资源，是量子计算机、量子模拟等重大应用的物理基础。那么，如何产生量子纠缠呢？现在科学家已经掌握许多制备量子纠缠的方法和途径。最常用的是将一束激光照射到非线性晶体上便能产生纠缠光子对。当然，这种纠缠光子源属概率性的。这种参量下转换产生的许许多多光子对中才会有一对光子是纠缠的，人们甚至无法预先知道哪一

对是纠缠光子，只能采用能确定纠缠的探测装置来加以识别，但一旦确认该光子对是纠缠的，纠缠也会因此测量而消失。这种后测量制备的纠缠应用是有限的。理想的应当是确定性纠缠源，即每次仅产生一对光子，而且它们必定处于纠缠态。例如，具有合适能级结构的单个量子点，将其激发到某个特定能级上，它会跃迁到某个中间能级，伴随着发射出一个光子，随后又从中间能级跃迁到下能级，发射出另一个光子，而且两个光子处于纠缠态。

两个独立的粒子不纠缠，通过某种非线性相互作用，两个粒子可以处在纠缠态上，这种非线性作用的途径有许多：两个纠缠光子分别入射到两个独立量子客体(例如冷原子系综、固态量子存储器等)，可以使这两个量子客体变成量子纠缠；在上述量子隐形传态中，Alice对相互独立的粒子A和C实施Bell态测量，便使A和C成为纠缠态；量子处理器中的量子受控非门可以使输入的两个量子比特在输出端成为纠缠态，等等。

量子纠缠尽管奇妙无比，用途广泛，但它却有天然的致命伤——量子纠缠十分脆弱，环境会不可避免地破坏其量子特性而使“纠缠”消失掉，即两个纠缠的量子客体最

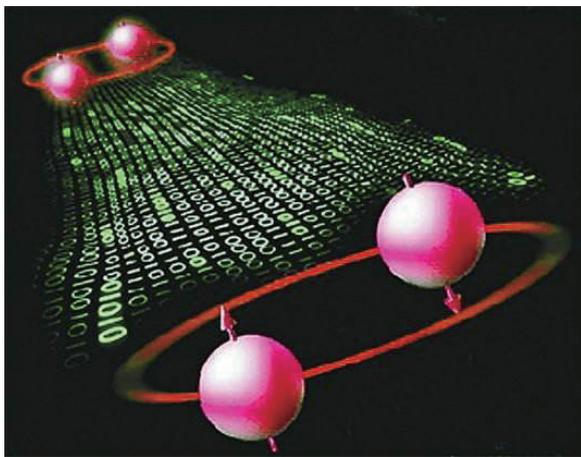


图2 量子隐形传态(图片来源于网络)

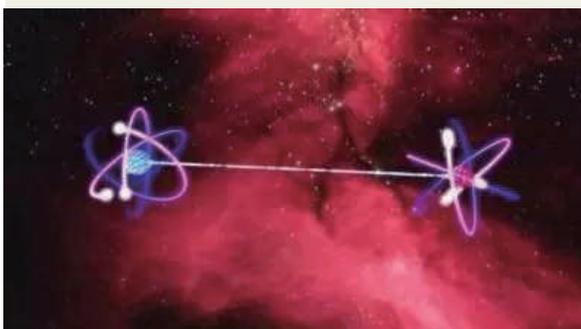


图3 量子纠缠(图片来源于网络)

终会演化为不纠缠的状态，非局域关联完全断开。所谓环境不仅包括经典噪声，诸如热运动、吸收、散射等，还包括量子噪声，即真空起伏。即使我们有办法将经典噪声完全隔绝，量子噪声仍无法消除，而且无处不在。这种环境引起的量子性消失，被称为“消相干”(或“退相干”)。“消相干”是“量子相干性”的天敌！

量子器件是一种人造的量子系统，“消相干”是实际量子器件应用的主要障碍，必须采取措施加以克服。例如通用量子计算机必须采用量子纠错和容错来克服消相干的影响，远程量子通信必须采用量子中继来建立远距离的纠缠通道等等。