

# 量子十问之一

## 量子究竟是什么？

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/wl20181009

**序言** 我在20世纪80年代初期开始致力于量子光学研究，90年代初又扩展到刚刚萌芽的量子信息领域。当时国内学术界对量子信息领域的研究呈现出相当冰冷的状态，民众更是将量子力学视为高悬在学术殿堂之上的圣物，敬而远之。

近几年来，随着量子信息的飞速发展，加上媒体的大力渲染，“量子”已成为人们津津乐道的话题，有的甚至将“量子现象”描绘得神秘无比，仿佛世界上所有难以解决的事情都可归结到“量子纠缠”上。个别学者不实的夸大宣传，部分媒体的不断炒作，造成当前关于“量子世界”形形色色的奇谈怪论，引发各界激烈的争论。

究竟量子力学能为人类提供什么真实有用的技术？目前宣传的量子现象，哪些是科学的预言，哪些是杜撰出来的虚无之物？在学术界朋友的催促下，我将媒体种种议论汇聚为十个问题，谈谈个人的看法。毕竟量子世界奇妙无比，没人敢断言已完全参透了量子世界的真髓。“量子十问”系列科普短文只不过是一孔之见，供读者参详、争论。

我要感谢中科院量子信息重点实验室的周正威、孙方稳、李海欧、周宗权等师生的通力协助，才能在较短时间内撰写好这一系列科普文章。

1900年，普朗克首次提出量子概念，用来解决困惑物理界的“紫外灾难”问题。

普朗克假定，光辐射与物质相互作用时其能量不是连续的，而是一份一份的，一份“能量”就是所谓量子。从此“量子论”宣告诞生。

然而当时的物理界，包括普朗

克本人，都讨厌“量子”这个怪物，千方百计想要将它消化在经典物理的世界之中，但却屡试不果。唯有爱因斯坦独具慧眼，他认为光辐射不仅在于与物质相互作用时的能量是一份一份的，光辐射的能量，本身就是“量子化”的，一份能量就是光能量的最小单元，后来

称之为“光量子”，或简称“光子”。

法国年轻的博士生德布罗意在爱因斯坦“光子”概念的启发下提出：既然看似波动的光辐射，具有“粒子”特性，那么像电子这类看似“粒子”的物质，也应具有波动性。这就是“德布罗意物质波”的概念，由此引发后继大量理论与实验

研究，证实所有微观粒子都同时具有波动性和粒子性二象性。这些奇异特性的微观粒子构成“量子世界”，遵从量子力学的运动定律。

随着科学技术的发展，人们认识到“量子世界”不仅限于微观和单个粒子，某些宏观尺度下的多



普朗克



德布罗意



费曼

粒子系统也遵从量子力学规律。例如玻色—爱因斯坦凝聚(BEC),当原子聚合的温度足够低时,所有处于不同状态的原子,会突然聚集在同一个尽可能低的能量状态上,其行为就像一个“放大”的玻色子,遵从量子力学规律。

我们按物理运动规律的不同,将遵从经典运动规律(牛顿力学,电磁场理论)的那些物质所构成的世界称为“经典世界”,将遵从量子力学规律的那类物质所构成的世界称为“量子世界”。“量子”就是量子世界中物质客体的总称,它既可以是光子、电子、原子、原子核、基本粒子等微观粒子,也可以是BEC、超导体、“薛定谔猫”等宏观尺度下的量子系统,其共同特征就是必须遵从量子力学的规律。

举一个例子说明“量子”与“经典”的本质区别。经典世界的特点是物体的物理量、状态在某个时刻是完全确定的:晶体管要么导通,要么关闭,完全确定。即经典信息要么是0,要么是1,毫不含糊。但量子世界中,客体的物理量则是不确定的、概率性的,而且这种不确定性与实验技术无关,是量子世界的本质特征,无法消除。这个特征体现在量子力学中重要的量子态叠加原理上。

量子态记作 $|\psi\rangle$ ,是科学家引进量子力学中用来描述量子系统的状态,其运动规律是薛定谔方程。

量子态又称波函数或几率幅,它没有任何经典对应。虽然人们并不喜欢量子世界的这种描述,因为它与我们所熟悉的经典世界截然不同,但一百多年来所有实验都证实了量子力学的所有预言,人们

不得不承认这种描述是正确的。

著名物理学家费曼说,“量子力学的奥妙之处就是引入几率幅 $|\psi\rangle$ ”。

假定量子客体有两个确定的可能状态0或者1,通常写成 $|0\rangle$ 、 $|1\rangle$ ,由于量子状态(写成 $|\psi\rangle$ )是不确定的,它一般不会处于 $|0\rangle$ 或 $|1\rangle$ 的确定态上,只能处于这两种确定态按某种权重叠加起来的状态上,这就是量子世界独有的量子态叠加原理,用数学表示为 $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ 。其中 $\alpha, \beta$ 为复数,且满足 $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ 。

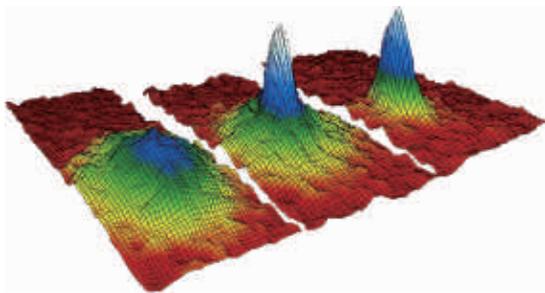
量子信息以 $|\psi\rangle$ 为信息单元,称为量子比特。这从根本上区别于经典信息,后者以 $|0\rangle$ 或 $|1\rangle$ 为信息单元,俗称比特。

正是量子态 $|\psi\rangle$ 的种种奇异特性导致量子信息技术的性能可以突破经典的物理极限,为人类开拓新一代的信息技术。

事实上,量子力学的所有奇异特性正是源于这个几率幅。当然,近百年来对量子力学争论不休也在于这个几率幅(量子态)。

目前,网络上流传什么“量子肥料”、“量子水”等忽悠人的词,将来还可能出现“量子炸弹”、“量子导弹”……这些忽悠大众的名词将本应光辉纯洁的学术领域炒作得乌烟瘴气,真假不分,鱼目混珠。

其实,人们只要搞懂“量子比特”的本质,就可以戳穿“假量



玻色—爱因斯坦凝聚(图片来自网络)



激光测距(图片来自网络)

子”的骗局。简单的判据就是看它是否应用到“量子比特”,即 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 的叠加态。

例如,激光测距实验,从目标反射回来的光束,其强度随距离不断衰减,当探测器无法探测到光时,就是最长的测量距离。当然,如果采用单光子探测器,则测量距离必然增长。

这里测到的是单个光子,是否可以称它为“量子测距”呢?

答案是否定的,因为它没用到光子的量子态,这只是将测距灵敏度提高到极限而已,仍属于经典范畴。密立根当年在实验上测量单个电子的电荷,虽然采用单个电子,但这仍然属经典物理实验,因为在该实验中,“单电子”只是作为电荷最小单元,而未涉及到任何量子特性。