

走近量子纠缠系列之二 玻尔和爱因斯坦之争

张天蓉[†]

2014-05-13收到

[†] email: tianrong1945@gmail.com

DOI: 10.7693/wl20140609

现在,让我们再回到玻尔和爱因斯坦有关量子理论的争论——以下简称“玻爱之争”。

两人都是伟大的物理学家,对量子理论的发展都做出了杰出的贡献。分别因为解决光电效应问题和量子化原子模型而获得1921年、1922年的诺贝尔物理学奖。爱因斯坦和玻尔的争论主要是有关量子力学的理论基础及哲学思想方面。实际上,也正因为这两位大师的不断论战,量子力学才在辩论中发展成熟起来。爱因斯坦一直对量子论及玻尔一派的解释持怀疑态度,他提出了一个又一个的思想实验,企图证明量子论及正统诠释的不完备性和荒谬性,直到他们逝世之后,这场论战仍在物理学界继续进行。但

遗憾的是,直到目前为止,每次的实验结果似乎并没有站在爱因斯坦这位伟人这边。

这场有关量子论的大论战搅得它的创立者们夜不能寐、寝食难安,当年在世的物理学家几乎全都被牵扯其中。学术界的纷争能促进学术的进步,但也能损害学者们的生理和心理健康,甚至还有物理学家因此而自杀的。

1906年,著名的奥地利物理学家玻尔兹曼在意大利度假的旅店里上吊自杀。玻尔兹曼性格孤僻内向,关注他的“原子论”的基础,厌烦马赫等不同见解者的诘难。尽管这场论战与量子论之争拉不上多少关系,并且最后是以玻尔兹曼的取胜而告终。但是,长长的辩论过

程使玻尔兹曼精神烦躁,不能自拔,痛苦与日俱增,最后只能用自杀来解脱心中的一切烦恼。玻耳兹曼的死使学者们震惊,也在一定程度上影响了荷兰物理学家埃伦费斯特(Paul Ehrenfest, 1880—1933)。后者曾经师从玻耳兹曼,是爱因斯坦的好友,其“浸渐假说”与玻尔的对应原理,是在经典物理学和量子力学之间架起的两座桥梁。埃伦费斯特于1933年9月25日饮弹自尽,他的死震动了物理界。

玻爱两人的第一次交锋是1927年的第五届索尔维会议。那可算是一场前无古人后无来者的物理学界群英会。在图1的这张会议历史照片中,列出来的鼎鼎大名使你不能不吃惊。在这次与会的29人中,有17人获得了诺贝尔物理学奖。

索尔维是一位对科学感兴趣的实业家,因发明了一种制碱法而致富。据说索尔维财大气粗后自信心倍增,发明了一种与物理实验和理论都扯不上关系的有关引力和物质的荒谬理论。尽管物理学家们对他的理论不屑一顾,但对他所举办的学术会议却是趋之若鹜。因此,当年那几届索尔维会议就变成了量子论的大型研讨会,也就是玻爱之争的重要战场。玻爱之争有三个回合值得一提,前两次起始于1927年和1930年的索尔维会议,第三次则是第七届索尔维会议后的1935年。

爱因斯坦对量子论的质疑要点



图1 1927年第五届索尔维会议照片(来自网络)

有三个方面，也就是爱因斯坦始终坚持的经典哲学思想和因果观念：一个完备的物理理论应该具有确定性、实在性和局域性。

爱因斯坦认为，量子论中的海森伯原理违背了确定性。根据海森伯的测不准原理，一对共轭变量(比如：动量和位置，能量和时间)是不能同时准确测量的：当准确测定一个粒子在此刻的速度时，就无法测准其在此刻的位置；如果要想准确测定位置，就不可能准确地测量速度。因此他说：“上帝不掷骰子！”

这儿所谓的“上帝掷骰子”，不同于人掷骰子。在当今的科学技术领域中，统计学和概率学是常用的数学工具。人们应用统计方法来预测气候的变化，股市的走向，物种的繁衍，人心的向背。几乎在各门学科中，都离不开“概率”这个词。然而，我们在这些情况下应用概率的规律，是由于我们掌握的信息不够，或者是没有必要知道那么多。比如说，当人向上丢出一枚硬币，再用手接住时，硬币的朝向似乎是随机的，可能朝上，可能朝下。但这种随机性是因为硬币运动不易控制，从而使我们不了解硬币从手中飞出去时的详细信息。如果我们对硬币飞出时的受力情况知道得一清二楚，就完全可以预知它掉下来时的方向，因为硬币实际上遵从的是完全确定的宏观力学规律。而量子论不同于此，量子论中的随机性是本质的。换句话说：人掷骰子，是外表的或然；上帝掷骰子，是本质的或然。

所谓实在性，则类似于我们熟知的唯物主义，认为物质世界的存在不依赖于观察手段。月亮实实在在地挂在天上，不管我们看它还是不看它。局域性的意思则是说，在

互相远离的两个地点，不可能有瞬时的超距作用。

1927年10月，那是布鲁塞尔鲜花盛开、红叶飘零的季节，著名的第五届索尔维会议在此召开。如图1照片所示，这次会议群贤毕至，济济一堂。我们似乎从这张老照片众多闪光的名字中，看到了量子论两大派别各路英雄一个个生动的形象：每个人都身怀特技，带着自己的独门法宝，斗志昂扬、精神抖擞，应邀而来。

玻尔高举着他的“氢原子模型”，玻恩口口声声念叨着“概率率”，德布罗意骑着他的“波”，康普顿西装上印着“效应”二字，狄拉克夹着一个“算符”，薛定谔挎着他的“方程”，身后还藏了一只不死不活的“猫”，布拉格手提“晶体结构”模型，海森伯和他的同窗好友泡利形影不离，两人分别握着“测不准原理”和“不相容原理”，埃伦费斯特也紧握他的“浸渐原理”大招牌。

最后登场的爱因斯坦，当时四十多岁，还没有修成像后来那种一头白发乱飘的仙风道骨形象。不过，他举着划时代的两面相对论大旗，头顶光电效应的光环。因此，他洋洋洒洒跨辈份地坐到了第一排老前辈无产阶级革命家的中间。那儿有一位德高望重的白发老太太，镭和钋的发现者居里夫人。另外，我们还看到了好些别的大师们的丰功伟绩：洛伦兹的“变换”、普朗克的“常数”、朗之万的“原子论”、威耳逊的“云雾室”，等等。

尽管人人都身怀绝技，各自都有不同的独门功夫，但大家心中都藏着一个谜团——对于他们共同哺育而发展壮大起来的新理论——量子力学，应该如何解释和诠释呢？诸位

大师们对此莫衷一是，众说纷纭。

两派人马旗鼓相当：玻尔的哥本哈根学派人数多一些，但爱因斯坦这边有薛定谔和德布罗意，三个重量级人物，不可小觑。

最后，就正式会议来说，这是量子论一次异常成功的大会，玻尔掌门的哥本哈根派和它对量子论的解释大获全胜。闭幕式上，爱因斯坦一直在旁边按兵不动，沉默静坐，直到玻尔结束了关于“互补原理”的演讲后，他才突然发动攻势：“很抱歉，我没有深入研究过量子力学，不过，我还是愿意谈谈一般性的看法。”然后，爱因斯坦用一个关于 α 射线粒子的例子表示了对玻尔等学者发言的质疑，不过，他当时的发言相当温和。但是，在正式会议结束之后几天的讨论中，火药味就要浓多了。根据海森伯的回忆，常常是在早餐的时候，爱因斯坦设想出一个巧妙的思想实验，以为可以难倒玻尔，但到了晚餐桌上，玻尔就想出了招数，一次又一次化解了爱因斯坦的攻势。当然，到最后，谁也没有说服谁。

1930年秋，第六届索尔维会议在布鲁塞尔召开。早有准备的爱因斯坦在会上向玻尔提出了他的著名的思想实验——“光子盒”。实验的装置是一个一侧有一个小洞的盒子，洞口有一块挡板，里面放了一只只能控制挡板开关的机械钟。小盒里装有一定数量的辐射物质。这只钟能在某一时刻将小洞打开，放出一个光子来。这样，它跑出的时间就可精确地测量出来了。同时，小盒悬挂在弹簧秤上，小盒所减少的质量，也即光子的质量便可测得，然后利用质能关系 $E=mc^2$ 便可得到能量的损失。这样，时间和能量都

同时测准了，由此可以说明测不准关系是不成立的，玻尔一派的观点是不对的。

描述完了他的光子盒实验后，爱因斯坦看着哑口无言、搔头抓耳的玻尔，心中暗暗得意。不想好梦不长，只过了一个夜晚，第二天，玻尔居然“以其人之道，还治其人之身”，找到了一段最精彩的说辞，用爱因斯坦自己的广义相对论理论，戏剧性地指出了爱因斯坦这一思想实验的缺陷。

光子跑出后，挂在弹簧秤上的小盒质量变轻即会上移，根据广义相对论，如果时钟沿重力方向发生位移，它的快慢会发生变化，这样的话，那个小盒里机械钟读出的时间就会因为这个光子的跑出而有所

改变。换言之，用这种装置，如果要测定光子的能量，就不能够精确控制光子逸出的时刻。因此，玻尔居然用广义相对论理论中的红移公式，推出了能量和时间遵循的测不准关系！

无论如何，尽管爱因斯坦当时被回击得目瞪口呆，却仍然没有被说服。不过，他自此之后，不得不有所退让，承认了玻尔对量子力学的解释不存在逻辑上的缺陷。“量子论也许是自洽的”，他说，“但却至少是不完备的”。因为他认为，一个完备的物理理论应该具有确定性、实在性和局域性！

玻尔虽然机敏地用广义相对论的理论回击了爱因斯坦“光子盒”模型的挑战，自己心中却仍然不是

十分踏实，自觉辩论中有些投机取巧的嫌疑！从经典的广义相对论出发，是应该不可能得到量子力学测不准原理的，这其中许多疑问仍然有待澄清。况且，谁知道爱因斯坦下一次又会想出些什么新花招呢？玻尔口中不停地念着：“爱因斯坦，爱因斯坦……”，心中无比感慨。玻尔对这第二个回合的论战始终耿耿于怀，直到1962年去世。据说，他的工作室黑板上还一直留着当年爱因斯坦那个光子盒的图。

玻爱之争的第三个回合，就到了1935年，这场论战达到了它的顶峰。这就是我们下一篇要讲到的EPR佯谬，它将引领我们进入此系列文章的主题：量子纠缠。

2014第13届华东(青岛)国际光电展览会

时间：2014年8月14-16日

地点：青岛国际会展中心

【主办单位】

中国电子学会元件分会 山东照明学会 中国国际贸易促进联合会 广东省电子商会
青岛德尔展览有限公司 山东省电子学会制造技术专业委员会 山东省照明电器行业协会理事单位
青岛市照明电器行业协会副会长单位 扬州市工商联（总商会）路灯产业商会

【承办单位】青岛德尔展览有限公司

【海外组展单位】香港东港国际展览有限公司

【协办单位】广州汇连展览有限公司 惠州大行会展有限公司

展区分为：光通信展区 激光红外及应用展区 精密光学展 LED展



德尔展览

青岛德尔展览招商部：

地址：青岛市山东路52号华嘉大厦201室

电话：+86-0532-85017066 传真：+86-0532-85833615

联系人：赵莉 15820035503 工作QQ：166820119