

量子诺贝尔奖步入现实

(北京理工大学 尹璋琦 编译自 Robert P Crease, Gino Elia. *Physics World*, 2022, (12): 21)

科学哲学家们对2022年度诺贝尔物理学奖兴趣浓厚。这是因为Alain Aspect, John Clauser与Anton Zeilinger设计并实施了许多巧妙的实验用于展示纠缠粒子。对哲学家而言,此工作无比诱人,因为其核心在于理解“量子力学到底是什么”的挑战。

此挑战的出现与其主题本身一样悠久,早在1927年,尼尔斯·玻尔就与阿尔伯特·爱因斯坦对各种思想实验的意义进行了辩论。对玻尔来说,这些思想实验表明尽管量子力学的形式很怪异,还是代表了真实的世界。而对爱因斯坦而言,这表明量子力学并没有展现真实世界,因而缺乏任何真实意义。

爱因斯坦的观点集中体现在其与他人合著的有名的“EPR”论文中,该论文据说证明了量子力学并不代表实在。EPR论文在物理学论文中也是独一无二的,因为它开始尝试定义实在。作者们认为:“物理量实在的一个充分条件在于,在不干扰系统的前提下确定性地预言它的可能性”。

此论文的重要性还在于,“实在”在现代科学中首次被当作一个可检验的假设。实在的不确定性源自EPR论文后薛定谔于1935年写给爱因斯坦的信中所称的“纠缠”——或是系统中一个粒子的量子态不能独立于所有其他系统而定义的条件。爱因斯坦与薛定谔认为这是一种罪孽,却震惊于他们的同

行对其不以为然。

进入实际

一个确实在乎“罪孽”的物理学家是贝尔(John Stewart Bell)。他出生于1928年,即玻尔与爱因斯坦开始其论战之后,且他坚信量子力学适用于所有实际用途。尽管如此,贝尔认为EPR论文以及玻尔含混的答复都回避了根本问题,而这与量子物理在技术上的有效性和作为理论的准确性都无关。

如果说贝尔对物理学家的冷漠感到失望的话,那他对那些顺从玻尔的物理学家就更恼火了。很多人认为他已经成功地反驳了爱因斯坦的反对意见,并通过“哥本哈根诠释”以某种方式解决了基本问题。此概念上模糊的诠释涉及一些类波的物体(无论是数学的还是真实的)以某种未知方式塌缩到类粒子的物体。

1960年在欧洲核子研究中心,贝尔碰巧与玻尔一起乘坐电梯,他试图鼓起勇气告诉这位75岁的物理学界前辈,他对量子力学的诠释是多么的错误与不负责任。可惜的是,贝尔失去了勇气。实际上,他想知道在他同事中有多少试图做过跟他一样的事情。

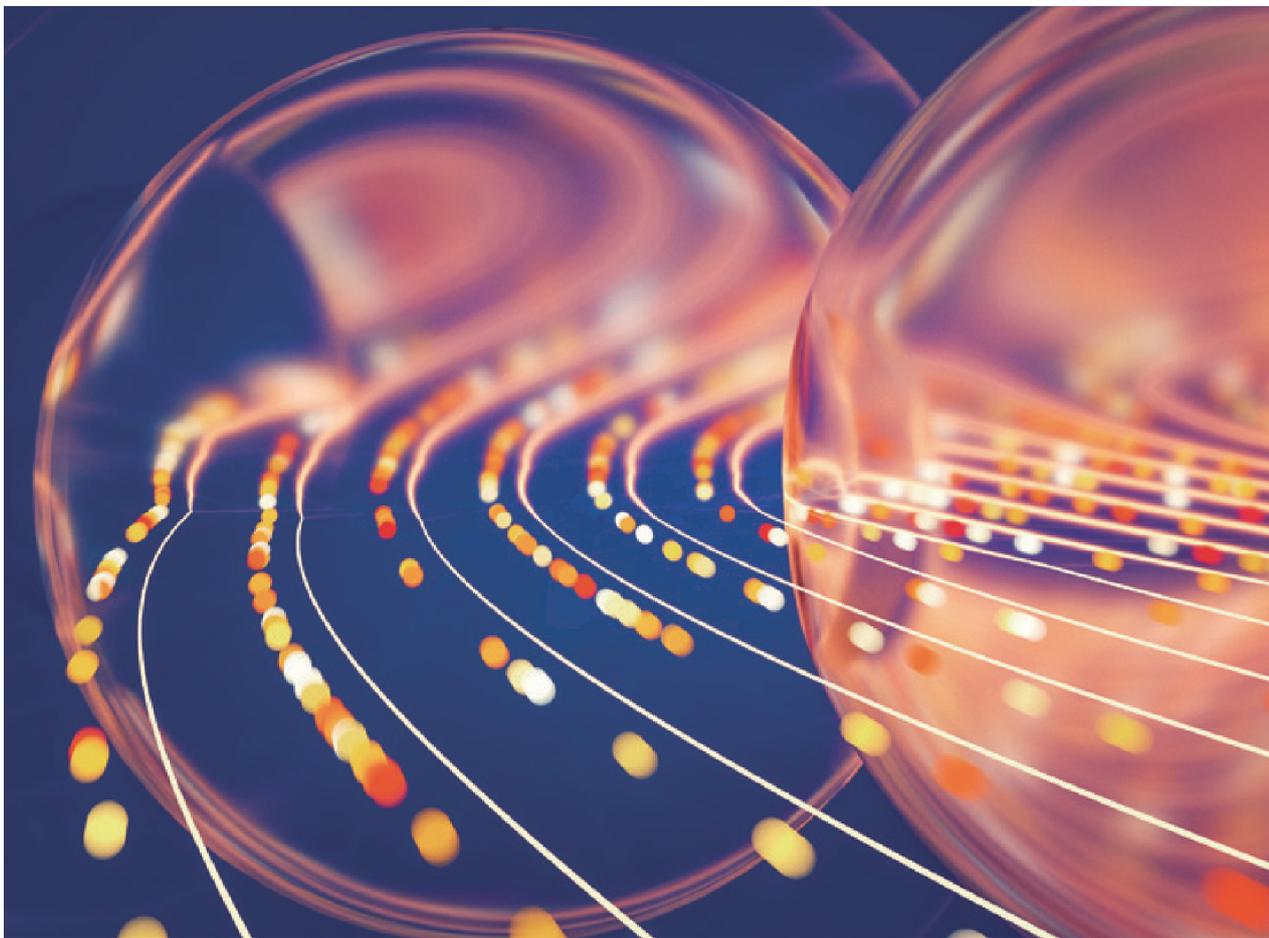
然后在1964年贝尔设计了一个创造性的思想实验,如果可以施行的话,将显示纠缠是否源自局域“隐变量”——在测量之前就存在的属性。开始时,贝尔认为爱因斯坦

是对的,也就是说隐变量将是量子力学问题的答案,且他可以证明玻尔是错的。但是贝尔越来越明白他做不到这点。

如果说爱因斯坦将实在变为一个可检验的假设,那么贝尔也完成了一些创新,他表明爱因斯坦的预先存在变量假设也是可以检验的。对哲学家们而言,贝尔的论文充满吸引力,因为它仔细审视了爱因斯坦所认为理所当然的东西的合理性;它询问了微观世界到底是什么样子,并探究了此图像引起的后果。爱因斯坦在概念上认为理所当然的东西现在可以被评估了。

不仅如此,此论文还表明玻尔并没有阐明为什么纠缠的存在必须排除这些预先存在的性质。换句话说,贝尔的论文为实验学家们提供了一个爱因斯坦与玻尔都未曾考虑过的目标。此工作始于1972年,Clauser与之后的Stuart Freedman开展了“贝尔测试”,给出了首个违背局域隐变量的证据。Aspect后来继续此项工作。

而对Zeilinger来说,他(与贝尔不同)长久以来一直都接受玻尔提出的量子力学描述。在1989年,也就是贝尔去世前一年,他与他的团队展示了3粒子纠缠,通过单次测量去掉了贝尔不等式的需要(译者注:可实现对局域隐变量理论非此即彼的判定)。从那之后,Zeilinger通过设计越来越精巧的纠缠实验,堵住了局域隐变量理论中越来越多



纠缠在物理学和哲学的边界提出了深刻的问题

的潜在漏洞。

关键所在

贝尔的哲学敏感性与物理精妙性为他在善于反思的物理学家和深思熟虑的科学哲学家中赢得了准神话般的地位。为EPR论文而战的物理学家没有回答的哲学问题引发了他对纠缠之谜的重新审视。贝尔以一种吸引物理学家的方式来阐述他对量子力学意义的疑虑，通过古怪且有趣的思想实验来强调概念上的差异。

但为什么不是对科学敏感的哲学家最先抵达“罪孽”发生现场？为什么他们没有意识到EPR的挑战并猛扑上去？毫无疑问部分原因在

于他们缺乏技术训练。另一部分原因在于学科经历上的限制。尽管如此，贝尔丰富的哲学概念化和巧妙的形而上学想象力不仅应该成为主流理论物理学的组成部分，而且也应该成为哲学的组成部分。

物理学家David Mermin曾回忆在1989年某个会议上，贝尔对他的某个物理学家同行大声呼吁，试图号召他的同事们不要让其想象力在传统智慧的阴影下枯萎。2022年度诺贝尔物理学奖突显了物理学家的大胆与开放，这些物理学家挑战了其方程式所假定的概念框架，并表明至少有关物理学的哲学问题通常是在物理上可以严格检验的。

(译者注：对贝尔不等式的测试持续了四十多年，直到2015年，才有三个实验组在金刚石色心和纠缠光子的贝尔测试中同时排除局域性漏洞和测量漏洞，这也被称为无漏洞的贝尔测试实验，它们有力地支撑了2022年的诺贝尔物理学奖。贝尔不等式不仅在理论物理和科学哲学中产生了广泛的影响，在信息安全领域也有重要的应用前景。基于无漏洞的贝尔测试实验技术，人们正在研发更安全的量子密钥分发技术，更可靠的量子随机数发生器等。很可惜，贝尔教授没有看到这一天，由于中风在1990年他突然去世，时年62岁。如果他没有去世，也许早已拿到诺贝尔物理学奖了。)