物理学史中的五月

1935 年 5 月：EPR 佯谬的论文在《物理评论》发表

（译自 *APS News*，2005 年 11 月）

萧如珀[1]　杨信男[2]　译

（1 自由业；2 台湾大学物理系　10617）

到了 20 世纪 20 年代，大多数的物理学家都已清楚知道经典力学已无法完整描述原子世界，特别是在普朗克 (Planck) 率先提议“量子”的概念，爱因斯坦进一步发展以解释光电效应之后。物理学必须再造，导致量子理论的出现。

爱因斯坦和玻尔

海森伯 (W. Heisenberg)、玻尔 (N. Bohr) 以及其他协助建立此理论的科学家都坚持说，原子的某些行为细节无法用有意义的方法来讨论，例如，我们绝无法预测原子放射出光子的确切时刻。然而，爱因斯坦却绝无法接受这样天生的不确定性，他曾说出名言：“上帝不会掷骰子。”爱因斯坦并非对此不满的唯一个人，发明波动方程式的薛定谔 (E. Schrödinger) 也曾这样说量子力学：“我不喜欢它，很抱歉我曾和它有关系。”

在一篇 1935 年的论文中，爱因斯坦、波多斯基 (B. Podolsky) 和罗森 (N. Rosen) 提出了一个思考性的实验，主张量子力学不是一个完整的物理理论。这个思考性的实验现在称为“EPR 佯谬”(EPR paradox)，是用来说明量子理论天生概念上的难题。它说明一个纠缠的量子系统中，对一个粒子所测出的结果对另一个粒子会有立即的效应，不管这两个粒子的距离有多远。

量子力学其中一个主要的特性是不确定性的概念：一个系统中经典物理可观察到的特性并非都能同时精确无误地测定，甚至原则上也不行。而是，可观察到的特性中可能有几组——例如位置和动量——无法同时都知道。量子力学另一个奇特的性质是纠缠：例如假如两个光子纠缠在一起，也就是说，它们起初可以相互作用，因此可以接着用单一波函数来加以定义，之后它们一旦分开了，它们仍会共享一个波函数。如此，测量一个就决定另一个的状态：例如，一个零自旋纠缠态，假如一个粒子被测出是向上自旋，另一个马上被迫是向下自旋。

这就是大家所知的“非定域性行为”，爱因斯坦称它为“超距的怪异行为”它似乎违反了相对论中的

两个纠缠的光子

一个主要的理论：讯息传送的速度无法超过光速，因为它会违反因果律。

值得注意的是，爱因斯坦并未试着要反驳量子力学；他承认量子力学事实上可以预测各种实验的结果。爱因斯坦只是被理论的哲学阐释所苦恼，他主张量子力学因为 EPR 佯谬，所以不能视为有关自然的完整理论。爱因斯坦假设存在有隐藏变量：系统仍有未知的局部性质，可用以解释不确定性，因而并不需要有瞬间的怪异行为。玻尔强烈反对此观点，他为更严谨的量子力学哥本哈根诠释做辩护。他们俩人经常激烈争论此议题，尤其在 1927 和 1930 年的索耳维会议中；两人都从未承认失败。

自从爱因斯坦和他的同事发表最初的 EPR 论文后，在理论和实验方面都有许多进展，今日大部分的物理学家比较会将所谓的“佯谬”视为量子力学如何违反经典力学的说明，而非像爱因斯坦原先所指量子理论本身有基本瑕疵的证据。

然而，此论文经由突出测量过程的基本非经典特性，的确帮助深化我们对量子力学的了解。在此论文发表之前，大多数的物理学家看待此测量为是直接加在被测量系统的物理干扰：光射到电子上来决定它的位置，但这会干扰电子而产生不确定性。EPR 佯谬说明了可以经由测量远处的纠缠粒子，来不直接干扰地测量一个粒子。

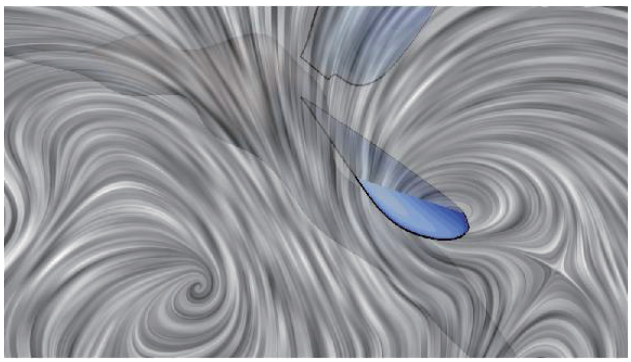
现在，量子纠缠是好几个尖端科技的基础。在量子密码学中，纠缠的粒子被用来传送无法被偷听者拦截而不留下痕迹的讯息。最先可行的量子密码系统已被几个银行所使用了。发展迅速的量子计算领域使用纠缠的量子态来做平行的计算，如此有些计算方式比使用经典计算器可以快很多。

（本文转载自台湾大学教育发展中心“CASE 读报”，网址 http://case.ntu.edu.tw/blog）

科苑快讯

蚊子飞行背后的空气动力学

蚊子是奇特的飞行者。相比其他昆虫、鸟类和蝙蝠，它们的翅膀轻薄狭长，科学家一直想知道蚊子是怎样飞离地面的。现在新的研究表明，这些动物是通过扭转它们的翅膀而起飞的。大多数动物产生升力（让它们保持在空中的力），是在每次翅膀煽动的向下拍动期间，翅膀前缘产生的空气旋涡，减少了翅膀上的压力，推动动物上升。但是蚊子通过一点额外的东西增加了前缘升力。为了找出那个东西，科学家用高速摄影机拍摄南方库蚊，并进行飞行动力学建模。他们发现蚊子在每次向上和向下拍动的最后阶段会扭转翅膀，沿这个翅膀长度产生升力，这就解释了长翅膀更利于飞行的原因。



这种扭转也可以有助于从前一次的翅膀煽动过程中更好地利用风，他们在《自然》（*Nature*）杂志上做了报告。当翅膀调转方向时，在前一次煽动期间冲过来的空气形成翅膀后缘的第二次涡流，蚊子改变翅膀的角度，利用后缘涡流在一种称为“尾流捕捉”的压力中产生升力。尽管新的空气动力学研究对象只有蚊子，但科学家说同样的原理也适用于其他昆虫，特别是那些长着纤长翅膀、快速振翅的昆虫。

（高凌云编译自 2017 年 3 月 29 日《欧洲核子中心快报》）